



**MINISTÈRE  
DE L'ÉDUCATION  
NATIONALE  
ET DE LA JEUNESSE**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

## **Rapport du jury**

**Concours : Agrégation externe**

**Section : Sciences industrielles de l'ingénieur**

**Option : Sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie mécanique**

**Session 2023**

Rapport de jury présenté par : Régis RIGAUD, Inspecteur général de l'éducation du sport et de la recherche  
Président du concours

## Sommaire

Remerciements	3
Résultats statistiques de la session 2023	4
Avant-propos	5
Éléments de correction de l'épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur	7
Rapport du jury de l'épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur	17
Éléments de correction de l'épreuve de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation	21
Rapport du jury de l'épreuve de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation	33
Éléments de correction de l'épreuve de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation	39
Rapport du jury de l'épreuve de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation	47
Exemple de sujet pour l'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnique	50
Rapport du jury de l'épreuve d'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnique	56
Exemple de sujet pour l'épreuve d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnique	63
Rapport du jury de l'épreuve d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnique	69
Rapport du jury de l'épreuve de soutenance d'un dossier industriel	75
Rapport sur la transmission des valeurs et principes de la République	79

## Remerciements

Le lycée La Martinière Monplaisir à Lyon a accueilli les épreuves d'admission de cette session 2023 de l'agrégation externe section sciences industrielles de l'ingénieur, option sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie mécanique qui se sont déroulées dans de très bonnes conditions du 12 juin au 20 juin 2023 inclus. Les membres du jury adressent de vifs remerciements à monsieur le Proviseur de cet établissement ainsi qu'à l'ensemble de ses collaborateurs pour l'accueil chaleureux qui leur a été réservé.

Ces remerciements s'adressent aussi à monsieur le Proviseur du lycée Raspail de Paris qui a accueilli les membres du jury pour la réunion préparatoire du 20 janvier 2023.

## Résultats statistiques de la session 2023

Inscrits	Nombre de postes	Présents aux trois épreuves d'admissibilité	Admissibles	Admis
494*	33	249**	90***	33

\*dont 102 candidats à l'agrégation marocaine

\*\* dont 48 candidats à l'agrégation marocaine

\*\*\* dont 15 candidats à l'agrégation marocaine

Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le premier candidat admissible	17,73/20
Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le dernier candidat admissible	08,8/20
Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le premier candidat admis	16/20
Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le dernier candidat admis	09,8/20

**Arrêté du 28 décembre 2009 fixant les sections et les modalités d'organisation des concours de l'agrégation**

# Avant-propos

Il convient d'insister dans cet avant-propos sur les éléments de nature à aider les préparateurs des sessions suivantes et leurs formateurs. Tout d'abord, il est rappelé la forte dimension pédagogique des épreuves d'admission qui répondent au besoin exprimé par la direction générale des ressources humaines. En particulier, cette dernière insiste auprès des présidents de concours de recrutement de professeurs sur la professionnalisation du contenu des épreuves de concours : « *Ainsi, les épreuves d'admissibilité évaluent la capacité du candidat à mobiliser des savoirs et des techniques dans une perspective professionnelle, tandis que les épreuves d'admission évaluent la capacité à élaborer une activité pédagogique à destination des élèves, à investir une situation d'enseignement en tant que futur professeur et à maîtriser des gestes techniques et professionnels* ». Les candidats sont donc invités à se préparer spécifiquement à l'élaboration de séquences pédagogiques en accord avec les programmes d'enseignement. Ensuite, il est vivement recommandé de lire attentivement le contenu du présent rapport de jury ainsi que sur les arrêtés qui décrivent les épreuves et le programme du concours disponibles sur le site devenir enseignant :

<https://www.devenirenseignant.gouv.fr/les-epreuves-de-l-agregation-externe-section-sciences-industrielles-de-l-ingenieur-949>

<https://www.devenirenseignant.gouv.fr/les-programmes-des-concours-d-enseignants-du-second-degre-de-la-session-2023-1064>

Enfin, il est indispensable de se préparer aux épreuves orales dès l'inscription au concours en particulier pour l'épreuve de soutenance d'un dossier industriel qui nécessite une élaboration longue depuis le choix d'un support issu du milieu industriel jusqu'à sa mise en œuvre dans le contexte d'une application pédagogique. Il est regrettable de voir que certains dossiers restent éloignés de problématiques technologiques ou que certaines exploitations pédagogiques sont peu pertinentes, malgré la qualité du support. Les deux épreuves d'exploitation pédagogique d'une activité pratique sont des épreuves exigeantes qui imposent une préparation importante. Ceux qui enseignent déjà au collège ou au lycée ne peuvent se reposer sur les acquis de leur expérience professionnelle pour réussir ces deux épreuves.

Compte tenu du coefficient double des épreuves d'admission par rapport à ceux des épreuves d'admissibilité, il est indispensable que les candidats destinent une part importante de leur préparation à ces épreuves. Les candidats doivent veiller à présenter les notions abordées avec exactitude et à mettre en évidence les compétences et connaissances qui seront mobilisées par les élèves en phase d'apprentissage. Chaque épreuve comporte également une dimension professionnelle évaluée au cours de l'entretien qui suit l'exposé du candidat. Elle vise, en rapport avec les attentes d'un concours de recrutement de professeurs, à évaluer « *la capacité du candidat à prendre en compte les acquis et les besoins des élèves, à se représenter la diversité des conditions d'exercice de son métier futur, à en connaître de façon réfléchie le contexte dans ses différentes dimensions (classe, équipe éducative, établissement, institution scolaire, société) et les valeurs qui le portent, dont celles de la République.* » Si la majorité des candidats réagit correctement aux questions posées à l'oral, il est parfois étonnant de constater que certains d'entre eux ne connaissent pas la structure du système éducatif ou encore les particularités des programmes d'enseignement pourtant largement abordés dans les communications institutionnelles. Ceci ne leur permet pas de se projeter de façon réaliste dans l'exercice de leur futur métier.

Les modalités et les objectifs des épreuves sont rappelés par le directeur du jury au cours de l'accueil avant le début des épreuves d'admission, il est impératif de les respecter pour répondre correctement aux attendus du jury. En particulier, pour les épreuves d'exploitation pédagogique d'une activité pratique

il est indispensable que le candidat fasse preuve d'une réflexion personnelle à partir du support de travaux pratiques proposé ce qui proscrit l'utilisation de séquences ou de documents prêts à l'emploi déconnectés de ce support. Il est recommandé aux candidats de limiter l'usage d'internet à son rôle de base documentaire dans l'élaboration d'une séquence pédagogique originale et personnelle. Enfin, le jury rappelle une nouvelle fois le caractère prestigieux du concours qui impose un comportement et une présentation irréprochables, compatibles avec les circonstances particulières d'un concours de recrutement de cadres de catégorie A de la fonction publique d'État.

Cette session 2023 a conduit à l'admission de 33 candidats sur la liste principale. Le jury adresse ses félicitations aux lauréats de la session.

Certains candidats présentent des progressions spectaculaires. Ainsi, un candidat a progressé de 50 places, deux autres de 40 et 45 places. Ceci démontre une nouvelle fois l'importance de se préparer aux épreuves d'admission autant qu'aux épreuves d'admissibilité dont elles sont complémentaires. L'épreuve de soutenance d'un dossier, de coefficient identique aux deux autres épreuves d'admission ne bénéficie pas de toute l'attention qui devrait lui être portée. Cette session a également vu l'admission de certains candidats qui avaient été admissibles les années précédentes, ce qui démontre l'importance de persévérer en tenant compte de l'expérience acquise et des remarques du rapport de jury.

Pour conclure cet avant-propos, je souhaite que les informations contenues dans ce rapport aident les candidats à se préparer sereinement et efficacement au concours de l'agrégation de Sciences Industrielles de l'Ingénieur. Pour cela, je les invite, ainsi que leurs formateurs, à lire de façon approfondie les recommandations du jury afférentes aux différentes épreuves.

Régis RIGAUD, Président du jury

# Éléments de correction de l'épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur

## Présentation de l'épreuve

- Durée totale de l'épreuve : 6 heures
- Coefficient 1

L'épreuve est commune à toutes les options. Les candidats composent sur le même sujet au titre de la même session, quelle que soit l'option choisie.

Elle a pour but de vérifier que le candidat est capable de mobiliser ses connaissances scientifiques et techniques pour conduire une analyse systémique, élaborer et exploiter les modèles de comportement permettant de quantifier les performances globales et détaillées d'un système des points de vue matière, énergie et information afin de valider tout ou partie de la réponse au besoin exprimé par un cahier des charges. Elle permet de vérifier les compétences d'un candidat à synthétiser ses connaissances pour analyser et modéliser le comportement d'un système pluritechnologique automatique.

## Présentation du sujet

Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère à l'adresse :

[https://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/Agreg\\_externer/00/6/s2023\\_agreg\\_externer\\_sii\\_1\\_1430006.pdf](https://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/Agreg_externer/00/6/s2023_agreg_externer_sii_1_1430006.pdf)

Ce sujet porte sur le bâtiment de la Philharmonie de Paris. Son édification a débuté en septembre 2009 et s'est achevée en 2015 dans le parc de la Villette à Paris. Le projet a été confié aux Ateliers Jean Nouvel en avril 2007 à l'issue du concours de maîtrise d'œuvre. Bâtiment minéral aux allures de butte intégré au parc de la Villette, la Philharmonie offre des formes novatrices (voir **figure 1**).



Figure 1 : la Philharmonie de Paris dans le parc de la Villette, vue façade extérieure © W. Beaucardet, 2016.

## Éléments de correction

### PARTIE 1 – Activité *Maestra, Maestro !* à la Philharmonie des enfants

Question 1 : La taille de la vidéo après compression est :  $3840 \times 2160 \times 3 \times 25 \times 120 / 5000 \approx 15$  Mo.

**Question 2 :** Le débit de transmission est d'environ  $\frac{1 \text{ bit}}{100\mu\text{s}} = 10\,000 \text{ bits/s}$ . La durée totale de la transmission est de :

$$\frac{(12 \times 8 \text{ bits} + 12 \times 3 \text{ bits})}{10\,000 \text{ bits/s}} \approx 0,0132 \text{ s.}$$

**Question 3 :** Pour le checksum, on applique l'opération  $\otimes$  entre chaque octet :

$$0xAB = (1010\ 1011)_2$$

$$0x00 = (0000\ 0000)_2$$

$$0x52 = (0101\ 0010)_2$$

$$0x42 = (0100\ 0010)_2$$

$$0xE4 = (1110\ 0100)_2$$

On obtient :

$$1010\ 1011 \oplus 0000\ 0000 \oplus 0101\ 0010 \oplus 0100\ 0010 \oplus 1110\ 0100 = (0101\ 1111)_2 = (5F)_{16}.$$

Les deux caractères XX sont donc 5F si la lecture de la trame est correcte.

**Question 4 :** On relève du bit faible au bit fort : début de l'écran 11 (2 bits de STOP de l'octet précédent) puis 0 (un bit de START)

11<sup>ème</sup> octet X : 1010 1100

11 (END) 0 (START)

12<sup>ème</sup> octet X : 0110 0010

11 (END) 1 (aucune donnée)

11<sup>ème</sup> octet lecture sérielle avec LSB en premier :  $(0011\ 0101)_2 = (35)_{16} = \text{caractère 5 ;}$

12<sup>ème</sup> octet :  $(0100\ 0110)_2 = (46)_{16} = \text{caractère F.}$

On retrouve bien le résultat de la **question 3**.

**Question 5 :** Le calcul du *checksum* permet de fiabiliser les échanges entre le bracelet et le lecteur par exemple en cas de bruits parasites.

**Question 6 :** La taille de la vidéo compressée (15 Mo) est bien inférieure à 20 Mo, la durée totale de transmission du numéro du bracelet au lecteur est inférieure à 50 ms (13 ms) et enfin le calcul du *checksum* permet d'éviter les erreurs de lecture. L'ensemble des critères de l'exigence Id 1.1.1 est donc vérifié.

**Question 7 :**  $\text{distance} = dx * \text{sqrt}((p1[0] - p0[0])**2 + (p1[1] - p0[1])**2)$

**Question 8 :**  $I(x+\delta x, y+\delta y, t+\delta t) \approx I(x, y, t) + \frac{\partial I}{\partial x} \delta x + \frac{\partial I}{\partial y} \delta y + \frac{\partial I}{\partial t} \delta t.$

**Question 9:**

$$A = \begin{bmatrix} I_x(p_0) & I_y(p_0) \\ I_x(p_1) & I_y(p_1) \\ \dots & \dots \\ I_x(p_{n^2-1}) & I_y(p_{n^2-1}) \end{bmatrix}, \quad P = \begin{bmatrix} -I_t(p_0) \\ -I_t(p_1) \\ \dots \\ -I_t(p_{n^2-1}) \end{bmatrix}.$$

**Question 10 :**

```

for i in range(n) :
    for j in range(n) :
        It[i,j] = (I2[i,j] - I1[i,j]) / dt
# OU It[:,:] = (I2[:,:] - I1[:,:]) / dt
return It

```

**Question 11 :**

```

for j in range(n) :
    for i in range(n) :
        pts.append(mat[i,j])
# OU for i in range(n) :
#     for j in range(n) :
#         pts.append(mat[i,j])
# OU pts.append(mat[j,i])
# OU pts = [0]*(n*n)
#     k = 0
#     for i in range(n) :
#         for j in range(n) :
#             pts[k] = mat[i,j]
#             k += 1

return pts

```

**Question 12 :**

```

def Lucas_Kanade(Ix, Iy, It) :
    ptsIx = liste(Ix)
    ptsIy = liste(Iy)
    ptsIt = liste(It)
    # calcul de Vx Vy : A V = P
    A = zeros((len(ptsIx), 2))
    P = zeros((len(ptsIx), 1))
    for i in range(len(ptsIx)) :
        # complexité de la boucle :  $O(n^2)$  (dimension de ptsIx :  $n^2$ )
        A[i, 0] = ptsIx[i] # dimension de A :  $n^2 \times 2$ 
        A[i, 1] = ptsIy[i]
        P[i] = - ptsIt[i] # dimension de P :  $n^2 \times 1$ 
    At = transpose(A) # complexité :  $O(2n^2)$ 
    C = dot(At, A) # complexité  $O(4n^2)$ 
    C = linalg.inv(C) # complexité  $O(8) = O(1)$  - dimension de C est  $2 \times 2$ 
    C = dot(C, np.transpose(A)) # complexité  $O(4n^2)$ 
    V = dot(C, P) # complexité  $O(2n^2)$ 
    return V

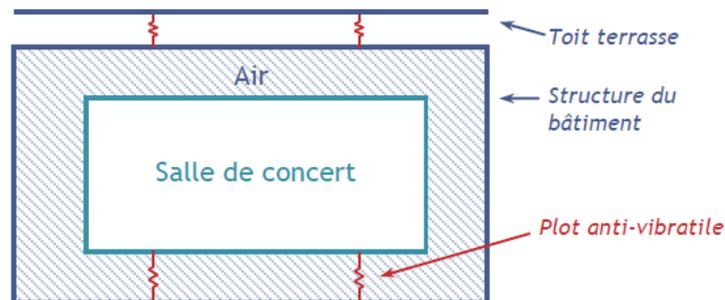
```

On ajoute des complexités d'ordre  $O(n^2)$ , la complexité de la fonction est donc  $O(n^2)$ .

**Question 13 :** La complexité de la méthode différentielle est quadratique tandis que celle de la méthode fréquentielle (transformée de Fourier d'une image) est  $O(n^4)$ . La méthode différentielle est donc efficace et l'exigence Id 1.2.1 est vérifiée. Il faudra tout de même vérifier que la taille de l'image  $I(x,y,t)$  ne soit pas trop importante (en terme de nombre de pixels, sinon les calculs de traitement d'image seront longs en  $O(n^2)$ ) et que le nombre d'images par seconde reste suffisant (pour garantir que  $\delta t$  entre deux images consécutives soit suffisamment petit et l'approximation de Taylor pertinente).

## PARTIE 2 – Étude acoustique de la Grande salle Pierre Boulez

**Question 14 :**



**Question 15 :**  $T_r = 0,16 \frac{V}{A_0}$  donc  $A_0 = 0,16 \frac{V}{T_r}$ .

Calcul du volume de la salle  $V$  :  $V = 58 \times 46 \times 22 = 58\,696 \text{ m}^3$ .

Calcul de l'aire d'absorption équivalente  $A_0$  :  $A_0 = \frac{0,16 \times 58\,696}{3} = 3130,45 \text{ m}^2$ .

Calcul du coefficient d'absorption acoustique moyen :  $A_0 = \sum_i \alpha_i S_i = \alpha_0 (S_0 + S_B)$  avec  $S_0$  les surfaces de la salle sans les balcons.

Calcul de  $S_0$  :  $S_0 = 2 \times (58 \times 46 + 58 \times 22 + 46 \times 22) = 9912 \text{ m}^2$ .

On en déduit :  $\alpha_0 = \frac{A_0}{S_0 + S_B} = \frac{3130,45}{9912 + 3400} = 0,23$ .

**Question 16 :** Calcul de l'aire d'absorption équivalente de la salle comble :

$A_c = \alpha_0 \times (S_0 + S_B - S_{sp}) + \alpha_{sp} \times S_{sp}$  avec  $S_{sp}$  la surface des spectateurs telle que  $S_{sp} = 2400 \times 0,5 = 1200 \text{ m}^2$ .

D'où  $A_c = 0,23 \times (9912 + 3400 - 1200) + 0,8 \times 1200 = 3745,76 \text{ m}^2$ .

Calcul du temps de réverbération de la salle comble :

$$T_{rc} = \frac{0,16 \times V}{A_c} = \frac{0,16 \times 58\,696}{3745,76} = 2,5 \text{ s.}$$

**Question 17 :** La canopée joue le rôle de réflecteur. Plus l'effectif de musiciens sera réduit, plus la position de la canopée doit être faible. Cela permet de favoriser les réflexions du son des musiciens vers le public et la scène.

**Question 18 :** Dans le cas de la musique amplifiée, il est nécessaire de limiter le temps de réverbération. En effet, une réverbération longue peut entraîner des effets gênants : les panneaux absorbants en velours permettront d'augmenter la surface d'absorption équivalente et donc diminuer le temps de réverbération.

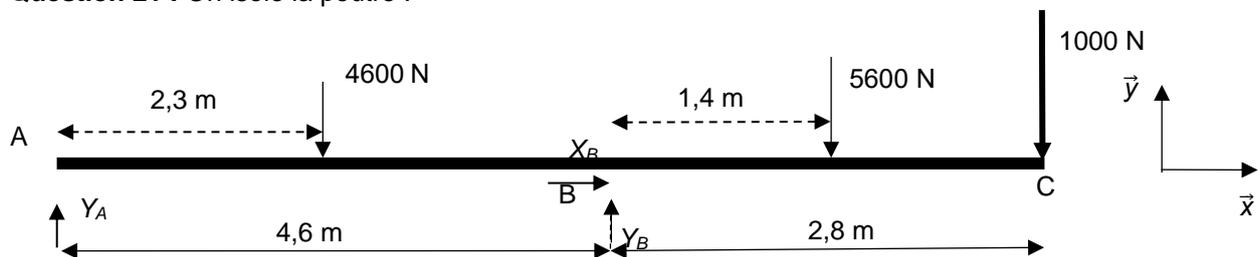
**Question 19 :** Le BIM permet de suivre en continu les modifications apportées par tous les acteurs sur la conception de la grande salle de concert. En ce sens, le BIM permet de donner une dimension supplémentaire aux études acoustiques illustrées sur les figures 14 et 15. L'acoustique n'est pas seulement une question de qualité d'aménagement mais la somme des choix opérés en structure, dans les équipements techniques, les matériaux... Par exemple, les acousticiens peuvent intégrer dans le BIM les caractéristiques acoustiques des différentes parois ou revêtements afin de vérifier la compatibilité avec d'éventuelles modifications d'architecture ou de matériaux.

### PARTIE 3 – Dimensionnement de la canopée

**Question 20 :** Par associativité sur l'intégrale de surface, la section de l'IPE 200 est un rectangle de 100x200 moins deux rectangles de 47,2x166(47,2 x183)

$$I_{Gz} = \frac{100 \times 200^3}{12} - 2 \frac{47,2 \times 183^3}{12} = 18\,455\,902 \text{ mm}^4.$$

**Question 21 :** On isole la poutre :



Le théorème de la résultante statique donne :

$$X_B = 0$$

$$Y_A - 4600 + Y_B - 5600 - 1000 = 0 \Rightarrow Y_A + Y_B = 11\,200 \text{ N.}$$

Le théorème du moment statique en B donne :

$$-4,6 \vec{x} \wedge Y_A \vec{y} - 2,3 \vec{x} \wedge 4600 \vec{y} + 2,8 \vec{x} \wedge 1000 \vec{y} + 1,4 \vec{x} \wedge 5600 \vec{y} = \vec{0}$$

$$\Rightarrow -60 - 4,6 Y_A = 0 \Rightarrow Y_A = -13,04 \text{ N.}$$

On en déduit :  $Y_B = 11\,213,04 \text{ N.}$

**Question 22 :** On détermine l'expression du moment fléchissant puis on calcule sa valeur en B.

On isole le tronçon entre A et B à gauche, l'équilibre de cette portion nous donne :

$$M_{fz} \vec{z} - x \vec{x} \wedge 13 \vec{y} - \frac{x}{2} \vec{x} \wedge 1000 \vec{y} = \vec{0} \Rightarrow M_{fz} = -13x - 500x^2.$$

En B :  $x = 4,6 \text{ m}$  donc  $M_{fz} = -10\,639,8 \text{ Nm} \approx -10\,640 \text{ Nm}$

**Question 23 :** Nature de la contrainte en B : contrainte normale.

Contrainte normale Maxi en B pour  $y_{max} = 100 \text{ mm}$  :

$$\sigma_{Max}^B = \frac{M_{fzMax}}{I_{Gz}} y_{Max} = \frac{10,64 \cdot 10^6}{20 \cdot 10^6} 100 = 53,2 \text{ MPa.}$$

**Question 24 :** Conclusion sur le choix du matériau : La contrainte normale maxi est très inférieure à  $R_e = 235 \text{ MPa}$ . Le coefficient de sécurité est supérieur à 4 ce qui permet de conclure que le matériau retenu convient.

**Question 25 :** C1 : Canopée (masse en translation verticale)

C2 : Arbre de synchronisation

C3 : Arbre de transmission

C4 : Treuil (tambour et réducteur)

C5 : Poulie de mouflage

**Question 26 :** Dans le bloc « Corde », pour les positions négatives la force est proportionnelle au déplacement, de manière cohérente avec la raideur imposée (l'effort vaut bien 100 N pour un déplacement de 1 m). Cependant, à la différence d'un bloc ressort pour lequel cette loi serait valable pour toutes positions, pour les positions positives du bloc Corde la force est nulle. Cela permet de modéliser le fait qu'un câble ne peut pas être soumis à de la compression. La force nulle correspond au moment où le câble est détendu. Ainsi il est pertinent d'utiliser un bloc Corde pour modéliser un câble afin de ne pas ajouter de raideur de compression qui n'a pas lieu d'être dans le cas de câble.

**Question 27 :** La raideur de l'arbre en torsion est telle que  $M_t = k_t \cdot \Delta\theta$

Or, pour un arbre soumis à de la torsion l'angle unitaire de torsion est donné par

$$\alpha = \frac{M_t}{I_0 \cdot G} \text{ avec } I_0 = \frac{\pi \cdot (D^4 - (D-2 \cdot e)^4)}{32}$$

$$\text{Par ailleurs } \alpha = \frac{\Delta\theta}{L}$$

$$\text{Ainsi } k_t = \frac{M_t}{\Delta\theta} = \frac{I_0 \cdot G}{L} = \frac{\pi \cdot (D^4 - (D-2 \cdot e)^4) \cdot G}{32 \cdot L}$$

$$\text{AN } k_t = 4970 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{rad}^{-1}$$

**Question 28 :** Les câbles sont soumis à de la traction. La raideur du câble est telle que  $F_{\text{cable}} = k_c \cdot \Delta l$  où  $\Delta l$  représente l'allongement du câble. Pour un câble de longueur  $L$

$$F_{\text{cable}} = S \cdot \sigma = S \cdot E \cdot \varepsilon = S \cdot E \cdot \frac{\Delta l}{L}$$

$$\text{Par identification } k_c = \frac{E \cdot S}{L}$$

$$\text{AN } k_c = 2,52 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

**Question 29 :** D'après les figures, sans arbre de synchronisation, la tension dans le câble 4 devient nulle (ce qui est cohérent car l'un des couples moteurs a été imposé à 0 Nm) ce qui peut être problématique au regard de l'enroulement au niveau du tambour. L'arbre de synchronisation permet donc de vérifier qu'aucun câble ne se détende et de répartir les efforts dans les deux cinématiques en cas de désynchronisation mécanique des moteurs ou de défaillance.

Dans le cas où un arbre de synchronisation est présent, la tension maximale relevée est de  $4 \cdot 10^4$  N, or la charge maximale admissible est de  $34,8 \cdot 10^4$  N. La tension est donc bien inférieure à un cinquième de la charge maximale admissible.

**Question 30 :** 4 périodes correspondent à 0,9 s, ainsi la période d'oscillation vaut 0,225 s et la fréquence 4,4 Hz.

Si les moteurs tournent à leur vitesse nominale, la ligne d'arbre tourne alors à une vitesse de  $198 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$  soit  $3,3 \text{ tr} \cdot \text{s}^{-1}$ . Les à-coups générés par les joints de cardan ont une fréquence de 6,6 Hz. Il n'y a donc pas de risque de mise en résonance à la vitesse de rotation nominale.

S'il y avait un risque, quelques solutions (non exhaustives) sont possibles :

- ajouter des amortisseurs (élastomères) dans la chaîne de transmission ;
- modifier les joints de cardan par des joints tripodes ;
- choisir des câbles/arbres plus gros, afin de modifier la raideur.

**Question 31** : Chaque câble étant mouflé une fois,

$$v = \frac{R}{2} \cdot \omega_{\text{tambour}} = \frac{R}{2} \cdot r_1 \cdot r_2 \cdot \omega_m \text{ donc } r_g = \frac{v}{\omega_m} = \frac{R}{2} \cdot r_1 \cdot r_2 = 1,58 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{rad}^{-1}$$

La vitesse de rotation nominale du moteur étant de  $1445 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$  :

$$v = 0,024 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Pour satisfaire l'exigence d'une vitesse maximale de déplacement de  $0,02 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  le moteur ne doit pas tourner à sa vitesse nominale. Grâce au variateur de fréquence cette exigence pourra être vérifiée.

**Question 32** : Les câbles ont une masse linéique de  $1,85 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$ . Dans le cas le plus défavorable la longueur d'un brin vaut  $18 \text{ m}$  (position « maintenance »). Seule la longueur de câble côté moteur est à prendre en compte, car l'autre brin est fixé au bâti. Pour 6 câbles, la masse vaut

$$M_{\text{cables}} = 6 \cdot 1,85 \cdot 18 = 200 \text{ kg}$$

La masse de l'habillage vaut  $80 \cdot 175 = 14 \cdot 10^3 \text{ kg}$ . La masse totale de la canopée est donc

$$M = m_{\text{equipement}} + m_{\text{structure}} + m_{\text{fers}} + m_{\text{habillage}} = 15 \cdot 10^3 + 7 \cdot 10^3 + 3,4 \cdot 10^3 + 14 \cdot 10^3 = 39,4 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

La masse des câbles est bien négligeable au regard de la masse totale de la canopée de 40 tonnes.

**Question 33** : Le centre de gravité total de la canopée vérifie :

$$M \cdot \overrightarrow{OG_t} = m_{\text{equipement}} \cdot \overrightarrow{OG_{\text{equipement}}} + m_{\text{structure}} \cdot \overrightarrow{OG_{\text{structure}}} + m_{\text{fers}} \cdot \overrightarrow{OG_f} + m_{\text{habillage}} \cdot \overrightarrow{OG_h}$$

La masse de l'équipement audiovisuel ainsi que la masse propre de la structure hexagonale étant supposées uniformément réparties sur la structure hexagonale, le centre de gravité de l'équipement et de la structure sont situés en O.

Ainsi :

$$M \cdot \overrightarrow{OG_t} = m_{\text{fers}} \cdot \overrightarrow{OG_f} + m_{\text{habillage}} \cdot \overrightarrow{OG_h}$$

En projetant dans le repère R :

$$x_t = \frac{m_{\text{fers}} \cdot x_f + m_{\text{habillage}} \cdot x_h}{M} = 0,032 \text{ m}$$

$$y_t = \frac{m_{\text{fers}} \cdot y_f + m_{\text{habillage}} \cdot y_h}{M} = 0,144 \text{ m}$$

$$z_t = \frac{m_{\text{fers}} \cdot z_f + m_{\text{habillage}} \cdot z_h}{M} = -0,179 \text{ m}$$

Comme  $x_t > 0$ ,  $y_t > 0$  et  $y_t > x_t$ , il est possible de déduire sans calcul que le câble situé en  $A_2$  sera le plus sollicité (car le plus proche du centre de gravité). Il semble donc cohérent dans la suite d'étudier la Canopée soumise uniquement aux actions des câbles  $A_2$ ,  $A_4$  et  $A_6$ .

**Question 34** : L'ensemble de la Canopée sauf les poulies est soumis à l'action de la pesanteur, et aux trois actions des poulies supposées verticales.

Le principe fondamental de la statique appliqué à cet ensemble s'écrit en O :

$$\begin{cases} -M \cdot g \cdot \vec{z} + F_2 \cdot \vec{z} + F_4 \cdot \vec{z} + F_6 \cdot \vec{z} = \vec{0} \\ \overrightarrow{OG} \wedge \vec{P} + \overrightarrow{OA_2} \wedge F_2 \cdot \vec{z} + \overrightarrow{OA_4} \wedge F_4 \cdot \vec{z} + \overrightarrow{OA_6} \wedge F_6 \cdot \vec{z} = \vec{0} \\ -M \cdot g \cdot \vec{z} + F_2 \cdot \vec{z} + F_4 \cdot \vec{z} + F_6 \cdot \vec{z} = \vec{0} \\ (x_G \cdot \vec{x} + y_G \cdot \vec{y} + z_G \cdot \vec{z}) \wedge (-M \cdot g \cdot \vec{z}) + \left( \frac{R}{2} \cdot \vec{x} + \frac{\sqrt{3} \cdot R}{2} \cdot \vec{y} \right) \wedge F_2 \cdot \vec{z} + (-R \cdot \vec{x}) \wedge F_4 \cdot \vec{z} + \left( \frac{R}{2} \cdot \vec{x} - \frac{\sqrt{3} \cdot R}{2} \cdot \vec{y} \right) \wedge F_6 \cdot \vec{z} = \vec{0} \end{cases}$$

En résultante en projection sur  $\vec{z}$  et en moment en O en projection sur  $\vec{x}$  et  $\vec{y}$

$$\begin{cases} F_2 + F_4 + F_6 - M \cdot g = 0 & (1) \\ -y_G \cdot M \cdot g + \frac{\sqrt{3} \cdot R}{2} \cdot F_2 - \frac{\sqrt{3} \cdot R}{2} \cdot F_6 = 0 & (2) \\ x_G \cdot M \cdot g - \frac{R}{2} \cdot F_2 + R \cdot F_4 - \frac{R}{2} \cdot F_6 = 0 & (3) \end{cases}$$

Après résolution :

$$F_2 = \frac{M \cdot g}{3} \left( 1 + \frac{x_G}{R} + \frac{\sqrt{3} \cdot y_G}{R} \right)$$

$$F_4 = \frac{M \cdot g}{3} \left( 1 - \frac{2 \cdot x_G}{R} \right)$$

$$F_6 = \frac{M \cdot g}{3} \left( 1 + \frac{x_G}{R} - \frac{\sqrt{3} \cdot y_G}{R} \right)$$

L'application numérique donne  $F_2 = 138 \cdot 10^3$  N

L'effort dans le câble est deux fois inférieur à cause du mouflage, donc

$$F_{cable2} = 69 \cdot 10^3 \text{ N}$$

**Question 35 :** L'étude se place dans le cas d'un maintien en statique de la canopée. À la limite du déplacement descendant (cas le plus défavorable), les différents frottements auront tendance à s'opposer au mouvement, donc à diminuer l'effort nécessaire de maintien.

**Question 36 :** En supposant que les trois câbles moteurs sont soumis à une tension de  $7 \cdot 10^4$  N, que les frottements dans toutes les liaisons sont négligeables (les rendements des réducteurs et renvois d'angle sont unitaires), que l'action de l'arbre de synchronisation sur le moteur considéré est nulle, et que les trois réducteurs sont identiques, le couple moteur vaut

$$C_m = 3 \cdot F_{cable2} \cdot r_g \cdot 2 = 3 \cdot F_{cable2} \cdot r_1 \cdot r_2 \cdot R$$

Le document technique indique le couple maximal en sortie du motoréducteur, il faut donc déterminer le couple en sortie du motoréducteur :

$$C_{red} = 3 \cdot F_{cable2} \cdot r_2 \cdot R = 3 \cdot 7 \cdot 10^4 \cdot \frac{0,282}{122,48} = 484 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Le document technique indique que le couple maximal en sortie du motoréducteur de maintien en statique est de  $1,15 \cdot 430$  N·m soit 494 N·m, ce qui est supérieur au couple requis. L'exigence est donc respectée.

**Question 37 :** En supposant que seules les inerties des deux rotors ainsi que la masse de la canopée ne sont pas négligeables, l'énergie cinétique totale vaut :

$$E_C = \frac{1}{2} \cdot M \cdot v^2 + J_m \cdot \omega_m^2 = \frac{1}{2} \cdot \left( M + 2 \cdot \frac{J_m}{r_g^2} \right) \cdot v^2$$

Le théorème de l'énergie cinétique appliqué à l'ensemble des pièces en mouvement permet d'écrire :

$$\frac{dE_C}{dt} = -M \cdot g \cdot v + \eta \cdot P_m$$

$$\left( M + 2 \cdot \frac{J_m}{r_g^2} \right) v \cdot \dot{v} = -M \cdot g \cdot v + \eta \cdot P_m$$

Ainsi

$$P_m = \frac{1}{\eta} \left[ M \cdot g \cdot v + \left( M + 2 \cdot \frac{J_m}{r_g^2} \right) \cdot v \cdot \dot{v} \right]$$

La puissance est maximale en fin de phase d'accélération, avec  $\dot{v} = 0,02 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  et  $v = 0,02 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Pour  $\eta = 0,9$  :

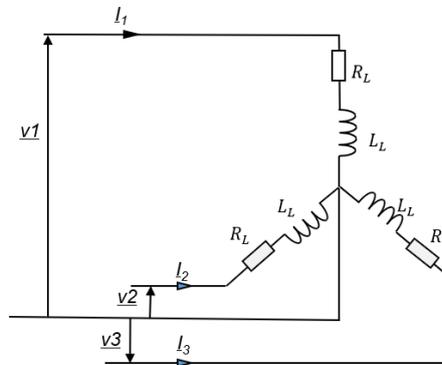
$$P_m = \frac{1}{0,9} \left[ 39 \cdot 10^3 \cdot 9,81 \cdot 0,02 + \left( 39 \cdot 10^3 + 2 \cdot \frac{280 \cdot 10^{-4}}{(1,58 \cdot 10^{-4})^2} \right) 0,02 \cdot 0,02 \right]$$

$$P_m = 9,51 \text{ kW}$$

Or, deux moteurs de 7,5 kW sont choisis, la puissance totale disponible est donc de 15 kW ce qui est supérieur à 9,5 kW. L'exigence 2.1.4.2 pourra donc être respectée.

#### PARTIE 4 – Dimensionnement du réseau d'alimentation du sous-ensemble scénique

Question 38 :



Question 39 :

$$\Delta V = 0,02 \cdot 230 = \frac{\rho_c \cdot l_c}{S_c} \cdot I_L = 300 \cdot \frac{1,72 \cdot 10^{-8} \cdot 230}{S_c} \quad S_c = 256 \text{ mm}^2$$

$$P_{\text{fils}} = 3 \cdot R_{\text{fils}} \cdot I^2 = 4,1 \text{ kW}$$

On choisit la section de 300 mm<sup>2</sup> selon tableau pour un courant maximum de 621 A.

Question 40 : Pour le module Lumière :

- la puissance active vaut :  $P = 3 \cdot R_L \cdot I^2 = 432 \text{ kW}$ ,
- la puissance réactive vaut :  $Q = 3 \cdot X_L \cdot I^2 = 243 \text{ kVAr}$ ,  $S = 495 \text{ kVA}$ .

Question 41 : Pour le module audiovisuel :

- La puissance active vaut :  $P_a = S \cdot \cos \varphi = 200 \cdot 10^3 \cdot 0,8 = 160 \text{ kW}$ ,
- La puissance réactive vaut :  $Q = S \cdot \sin \varphi = P_a \cdot \tan \varphi = 120 \text{ kVAr}$ .

Pour le module machinerie :

- la puissance active des 2 moteurs vaut :  $P = 2 \cdot \frac{7,5 \cdot 10^3}{0,9} = 16,7 \text{ kW}$ ,
- la puissance réactive vaut :  $Q = P \cdot \tan \varphi = 9 \text{ kVAr}$ .

Donc un total pour la machinerie :  $P = 526,7 \text{ kW}$  et  $Q = 147 \text{ kVAr}$   $S = 547 \text{ kVA}$ .

Question 42 :

La puissance active totale vaut :  $P_{\text{charges}} = 16,7 + 432 + 510 + 160 = 1118,7 \text{ kW}$ .

La puissance réactive totale vaut :  $Q_{\text{charges}} = 9 + 243 + 138 + 120 = 510 \text{ kVAr}$ ,

avec  $P_{\text{totale}} = P_{\text{charge}} + 3 \cdot P_{\text{fils}} = 1118,7 + 12,3 \text{ kW}$ .

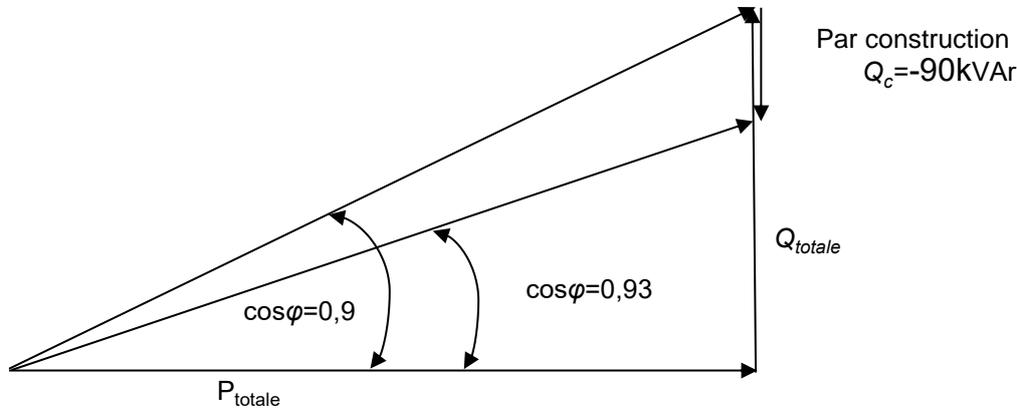
$$\eta = \frac{P_{\text{charge}}}{P_{\text{totale}}} = \frac{1118,7}{1130} = 99\%.$$

Question 43 : Courant en A avant compensation :  $I_A = \frac{\sqrt{P_{\text{totale}}^2 + Q_{\text{totale}}^2}}{\sqrt{3} \cdot U_A} = 1790 \text{ A}$ .

Le facteur de puissance vaut :  $\tan \varphi = \frac{Q_{\text{totale}}}{P_{\text{totale}}} = 0,45$  soit  $\cos \varphi = 0,9$ .

**Question 44 :** L'échelle du tracé suggérée est la suivante : 100 kVAr (ou kW) pour 1cm.

Comme pour un condensateur la réactance vaut  $X_c = \frac{1}{c\omega}$  on a  $Q_c = 3 \cdot U_A^2 c \omega$  ainsi on obtient une capacité de  $c = \frac{57 \cdot 10^3}{3 \cdot 400^2 \cdot 314} = 597 \mu\text{F}$ .



**Question 45 :** Courant en A' après compensation :  $I'_A = \frac{P_{total}}{\sqrt{3} \cdot U_B \cdot \cos \phi} = \frac{1131}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,93} = 1788 \text{ A}$ .

La puissance apparente :  $S'_A = \sqrt{P_{totale}^2 + (Q_{totale} - Q_c)^2} = 1218 \text{ kVA}$ .

**Question 46 :** Le courant primaire à vide  $I_{10}$  est faible devant le courant nominal, il est alors possible de négliger  $R_f$  et  $L_f$ .

**Question 47 :** Le raccordement en étoile permet de ramener le neutre ce qui est nécessaire si des équipements fonctionnent en monophasé.

- Le rapport  $m$  :  $m = \frac{V_{20}}{U_{1n}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 235}{20000} = 0,02$  pour un couplage triangle-étoile, à vide,
- La résistance  $R_S = \frac{P_{cc}}{3I_{2n}^2} = 1,17 \text{ m}\Omega$ ,
- L'impédance  $Z_S = \frac{V_{cc} \cdot V_{2n}}{I_{2n}} = 7,6 \text{ m}\Omega$  (l'erreur sur  $V_{cc} = 6\%$  a été prise en compte lors de la correction)
- La réactance  $X_S = \sqrt{Z_S^2 - R_S^2} = 7,57 \text{ m}\Omega$ .

**Question 48 :** L'impédance magnétisante est négligée compte tenu de l'ordre de grandeur du courant consommé à vide.

Construction de Fresnel :  $\underline{V}_{2n} = \underline{V}_2 + I_{2n} \cdot (R_S + jX_S)$  équation de Kapp

La chute de tension est déterminée par la relation  $\Delta V_2 = I_{2n} \cdot R_S \cdot \cos \phi + I_{2n} \cdot X_S \cdot \sin \phi = 6,96 \text{ V}$ .

Soit  $\frac{\Delta V_2}{V_{2n}} = 3\% < 5\%$  l'exigence 3.1.2.2 est vérifiée.

La puissance apparente :  $S'_A = \sqrt{P_{totale}^2 + (Q_{totale} - Q_c)^2} = 1218 \text{ kVA} < 1250 \text{ kVA}$ , l'exigence 3.1.3.1 est vérifiée.

## **PARTIE 5 – Synthèse**

### **Question 49 :**

1. La Philharmonie des enfants, et plus précisément l'attraction *Maestra, Maestro !* a pour vocation de faire découvrir la musique symphonique aux jeunes enfants. L'attraction doit permettre à un jeune visiteur de se mettre dans la peau d'un chef d'orchestre (Id 1.1 sur le DT1). La lecture par technologie RFID du bracelet contenant les informations du visiteur (adresse e-mail) ainsi que la pertinence de l'algorithme de traitement d'image permettant de fournir deux inputs du logiciel de traitement vidéo ont été vérifiés.
2. Les qualités acoustiques de la Grande salle Pierre Boulez doivent être adaptés à différents styles musicaux (Id 2.1 sur le DT1). L'isolement de la salle Pierre Boulez par rapport à l'ensemble du bâtiment (calcul du temps de réverbération), le réglage en hauteur de la canopée ainsi que le dimensionnement de la canopée (motorisation, structure, tension maximale dans les câbles qui la soutiennent) ont été étudiés.
3. Le module scénique doit être alimenté (Id 3.1 sur le DT1). Le choix du transformateur par le calcul des différentes puissances actives et réactives mises en jeu a été validé. La chute de tension de moins de 5% sur la ligne d'alimentation a été vérifiée.

### **Question 50 :**

1. Une étude thermique pourrait être mise en œuvre afin de respecter la norme en vigueur (modèle BIM, modèle multi-physique, choix des matériaux, isolants etc ...) : exigence 4 du DT1 ;
2. Une étude de la régulation de la température et de l'hydrométrie dans la salle Pierre Boulez pourrait être mise en œuvre afin de vérifier l'exigence 5 du DT1 (asservissement à l'aide de capteurs de température et d'humidité).

## **Commentaires du jury**

Cette épreuve, d'une durée de 6 heures, coefficient 1, est commune aux quatre options. Les candidats composent dans les mêmes conditions, sur le même sujet au titre de la même session quelle que soit l'option choisie. Conformément à l'arrêté du 28 décembre 2009 modifié, « cette épreuve a pour but de vérifier que le candidat est capable de mobiliser ses connaissances scientifiques et techniques pour conduire une analyse systémique, élaborer et exploiter les modèles de comportement permettant de quantifier les performances globales et détaillées d'un système des points de vue matière, énergie et information afin de valider tout ou partie de la réponse au besoin exprimé par un cahier des charges. Elle permet de vérifier les compétences d'un candidat à synthétiser ses connaissances pour analyser et modéliser le comportement d'un système pluritechnologique automatique ».

### **1. Présentation générale du sujet**

Ce sujet porte sur le bâtiment de la Philharmonie de Paris, dans le parc de la Villette, dont l'édification, confiée aux Ateliers Jean Nouvel, s'est achevée en 2015. La Philharmonie propose plusieurs espaces, à vocation scénographique, acoustique, culturelle et pédagogique. Le sujet se focalise principalement sur l'espace éducatif (Philharmonie des enfants) et l'espace scénographique et acoustique principal (la Grande salle Pierre Boulez).

Les différentes parties proposent de vérifier plusieurs des exigences du cahier des charges de la Philharmonie des enfants et de la Grande salle Pierre Boulez :

- les exigences liées à l'attraction *Maestra, Maestro !* de la Philharmonie des enfants,
- les exigences liées à l'acoustique de la Grande salle Pierre Boulez ainsi qu'au dimensionnement de la structure et de la motorisation de la canopée, réflecteur acoustique principal de la salle,
- les exigences liées à l'alimentation électrique du sous-ensemble scénique de la Philharmonie.

Les objectifs de la **partie 1** sont de valider les exigences liées à l'attraction *Maestra, Maestro !*, notamment :

- d'analyser l'information transmise par un bracelet RFID situé sur le poignet de l'enfant, permettant d'enregistrer son activité et de la lui envoyer sur adresse e-mail (validation de l'exigence Id 1.1.1) ;
- de proposer une partie de l'algorithme en langage Python permettant d'interpréter les gestes de l'enfant imitant un chef d'orchestre sur un enregistrement vidéo et de valider l'efficacité de l'algorithme (exigence 1.2.1).

L'objectif de la **partie 2** est de vérifier les qualités acoustiques de la Grande salle et valider l'exigence Id 2.1. « les qualités acoustiques de la salle doivent être adaptées à différents genres musicaux ».

Les objectifs de la **partie 3** sont :

- de vérifier que les solutions envisagées pour la conception de la structure de la canopée permettent de valider les exigences de sécurité, en termes de contrainte (Id 2.1.1) et de tension maximale des câbles (Id 2.1.3.3.) ;
- de valider le dimensionnement de la motorisation en vérifiant les exigences de vitesse de translation (Id 2.1.4.2) et de maintien statique (Id 2.1.3.2).

L'objectif de la **partie 4** est de valider le choix du transformateur de la ligne d'alimentation du poste d'exploitation Scénique, notamment par :

- la caractérisation de la consommation énergétique du module Lumière ;
- le calcul du rendement énergétique de l'alimentation des modules du poste d'exploitation scénique dans sa globalité, et la validation de l'exigence correspondante (id 3.1.3.1) ;
- le dimensionnement de la batterie de condensateurs qui permet de diminuer les chutes de tension, et donc de limiter les surcoûts de l'installation en aval du transformateur (exigence Id 3.1.2.1) ;
- et finalement de valider le choix du transformateur à partir des charges sur la ligne d'alimentation ainsi que des pertes en ligne (Id 3.1.2.2).

Enfin l'objectif de la **partie 5** est de conclure en effectuant une synthèse sur le travail réalisé et des études complémentaires restant à mener.

Bien que les 5 parties du sujet soient indépendantes, il était conseillé de traiter ce sujet dans l'ordre.

## 2. Analyse globale des résultats

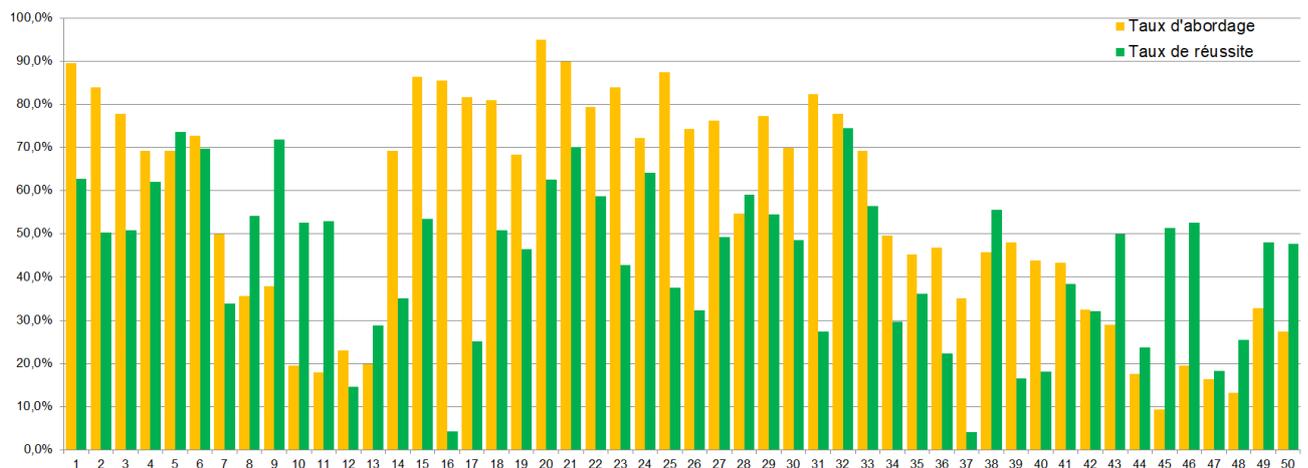
L'analyse globale des résultats amène aux constats suivants :

- la première partie été abordée par une très grande majorité de candidats (95%). La première sous-partie était très accessible et a un taux de réussite de 60%. En revanche seuls 10% des candidats ont réussi correctement la deuxième sous-partie ;
- la deuxième partie, d'ordre général, a également été largement abordée par les candidats (88%) et a été traitée correctement par 32% des candidats. Elle a un taux de réussite de 41% ;

- la troisième partie a été abordée par 93% des candidats. Elle a un taux de réussite de seulement 24%;
- la quatrième partie a été abordée par 72% des candidats. Elle a un taux de réussite de seulement 26% ;
- la cinquième et dernière partie a été abordée par 37% des candidats et a un taux de réussite de 44%.

### 3. Analyse spécifique aux candidats de l'option ingénierie mécanique

Les statistiques d'abordage et de réussite propres à chaque question du sujet sont données dans l'histogramme ci-dessous.



Le jury constate que toutes les parties ont été globalement abordées. Seule une question sur l'ensemble du sujet a été abordée par moins de 10% de candidats. La deuxième sous-partie n'a pas été beaucoup traitée, mais ceux qui l'ont abordée ont obtenu de bons résultats à ces questions. Il en va de même pour les questions de synthèse et la sous-partie 4.3.

Le jury observe par rapport à l'année précédente une progression du nombre de candidats qui ont fait l'effort d'aborder des questions qui ne sont pas en lien direct avec leur spécialité, et ne peut que s'en réjouir.

### 4. Conseils aux futurs candidats

Les candidats ayant réussi cette épreuve sont ceux qui ont fait preuve de transversalité et qui ont fait l'effort d'aborder chacune des parties. Chaque partie était conçue avec une difficulté croissante des questions, permettant aux candidats des différentes spécialités à la fois de pouvoir aborder partiellement chaque problématique, mais également de s'affirmer dans son domaine de prédilection.

Le jury encourage ainsi fortement les candidats à traiter toutes les parties du sujet et à montrer qu'ils maîtrisent l'ensemble des domaines des sciences industrielles de l'ingénieur. Les résultats démontrent que ceux qui refusent d'évoluer vers une approche transversale et sélectionnent les questions relatives aux différentes spécialités de l'ingénierie ne réussissent pas cette épreuve, car la note finale se trouve alors fortement limitée. Par conséquent, le jury conseille aux futurs candidats de s'investir sérieusement

dans toutes les parties du programme du concours et d'acquérir l'ensemble des compétences et des connaissances associées aux disciplines qui constituent les sciences industrielles de l'ingénieur.

Les candidats doivent également s'attacher à utiliser leurs connaissances universitaires afin de résoudre des problématiques techniques associées à des systèmes industriels. Les plus efficaces ont su ne pas perdre de vue que les analyses, les justifications et les choix technologiques doivent être toujours menés en gardant à l'esprit les enjeux du contexte industriel spécifique à l'étude.

Le jury constate trop souvent un manque de rigueur, notamment dans l'écriture des expressions littérales, dans la manipulation des grandeurs scalaires et vectorielles, de précision dans la présentation des copies et dans la rédaction. La présentation de la copie doit être irréprochable, les notations imposées dans le sujet doivent être scrupuleusement respectées. Il convient aussi de rappeler qu'il est attendu d'un fonctionnaire de l'État qu'il maîtrise convenablement la langue française et qu'il respecte les règles de l'orthographe et de la grammaire française afin de s'assurer que ce qu'il souhaite exprimer soit compréhensible et lisible.

Les réponses doivent être détaillées et argumentées : des résultats donnés directement, sans calcul, sans justification de principe, ne peuvent pas être pris en compte comme étant justes. Par ailleurs, les réponses montrant une maîtrise de la démarche mais n'arrivant pas jusqu'à la conclusion sont valorisées. Le jury apprécie aussi l'esprit critique face à des résultats aberrants et admet le choix délibéré de commenter ces résultats pour continuer le traitement du sujet.

Le jury souligne enfin la grande qualité d'expression constatée dans certaines copies, rédigées avec soin et un souci de clarté.

Réussir cette épreuve demande :

- de s'approprier en un temps limité un sujet technique pluridisciplinaire décrit avec les outils de modélisation de l'ingénierie système ;
- de maîtriser les modèles de connaissance des différents domaines d'étude de l'ingénierie ;
- d'analyser et d'interpréter des résultats d'étude, afin de formuler des conclusions cohérentes et pertinentes en concordance avec une problématique scientifique et technique.

## **5. Conclusion**

Le sujet a été conçu pour permettre aux candidats d'exprimer au mieux leurs compétences dans différents champs d'application d'un système pluritechnologique correspondant au cadre de cette épreuve transversale. Le jury engage fortement les futurs candidats à se préparer conformément aux attendus de l'arrêté du 28 décembre 2009 modifié.

Les auteurs remercient les ateliers Jean Nouvel et AMG Féchoz pour l'ensemble des données communiquées.

## **6. Résultats**

256 copies ont été évaluées. La moyenne des notes obtenues est de 8/20, avec un écart-type de 3,5/20 avec :

- 18,59/20 comme meilleure note ;
- 02,62/20 comme note la plus basse.

# Éléments de correction de l'épreuve de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation

## Présentation de l'épreuve

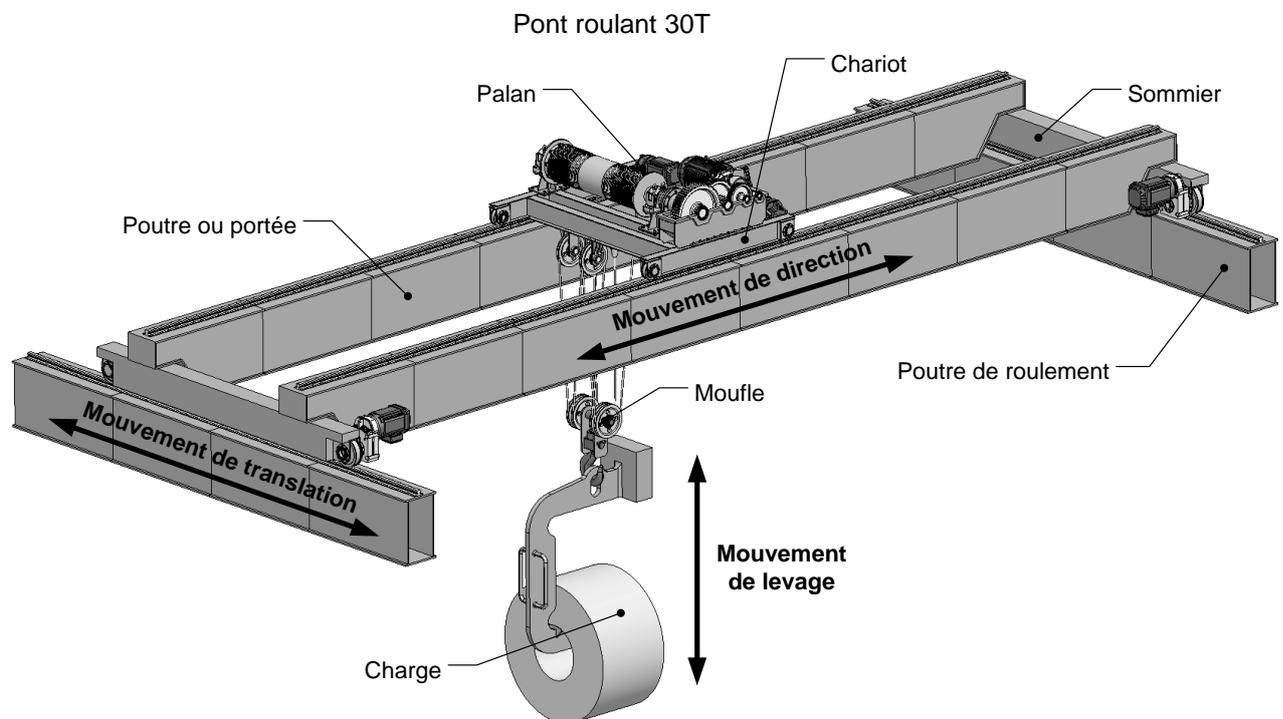
Durée totale de l'épreuve : 6 heures

- Coefficient 1

L'épreuve est spécifique à l'option choisie.

À partir d'un dossier technique comportant les éléments nécessaires à l'étude, l'épreuve a pour objectif de vérifier que le candidat est capable de synthétiser ses connaissances pour modéliser un système technique dans le domaine de la spécialité du concours dans l'option choisie en vue de prédire ou de vérifier son comportement et ses performances.

## Sujet



Le sujet porte sur un pont roulant destiné à transporter de lourdes charges.

Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère à l'adresse :

<https://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr.sti/files/concours-examens/15532/15532-agregation-ext-2023-sii-opt-sii-et-im-epreuve-2.pdf>

## Éléments de correction

### II.1 Vérification du dimensionnement du crochet

#### Question 1.

Référence : Annexes 3 et 5

Données : M72x4 + Documentation Maurin

On considère le diamètre du noyau de la vis  $d_3 = d - 5 + 0,093 = 67,09 \text{ mm}$

La charge déplacée est de 30 T soit un poids de 294,3 KN

#### Question 2.

Référence : Annexes 1C et 4

Données : Acier 35 CrMo4  $R_{e0,2} = 950 \text{ MPa}$  – Diamètre noyau : 67,1 mm

Section soumise à la traction :  $S = \frac{\pi d_3^2}{4} = \frac{\pi \cdot 67,1^2}{4} = 3536,2 \text{ mm}^2$

Contrainte normale :  $\sigma = \frac{F}{S} = \frac{294300}{3536,2} = 83,23 \text{ MPa}$

#### Question 3.

Référence : Annexe 2

Données :  $K = 2,7$   $C_s = 4$

Contrainte normale maximale :  $\sigma_{\text{maxi}} = 2,7 \times \sigma = 2,7 \times 83,23 = 224,7 \text{ MPa}$

Condition de résistance :  $\sigma_{\text{maxi}} \leq \frac{R_{e0,2}}{C_s}$        $\sigma_{\text{maxi}} \leq \frac{950}{4}$        $\sigma_{\text{maxi}} \leq 237,5 \text{ MPa}$

La condition de résistance est vérifiée.

#### Question 4.

On a affaire à une géométrie complexe, avec la prise en compte d'un chargement réparti correspondant au demi-poids de la masse maximale à déplacer. Ce chargement est réparti sur la surface de contact du crochet avec l'anneau lié à la charge. On impose un déplacement nul sur la hauteur du filet en prise.

#### Question 5.

On exploite la symétrie pour réduire le temps de calcul. Il faut cependant imposer un déplacement normal au plan de symétrie nul sur cette surface et un chargement sur le demi-crochet correspondant à la moitié du poids de la charge.

#### Question 6.

Référence : Annexe 6

On observe une contrainte maximale en font de filet de 241 MPa. L'ordre de grandeur est retrouvé. L'écart peut provenir du fait que nous avons fait un calcul en traction simple, alors que le crochet modélisé en éléments finis travaille aussi en flexion. Du fait des déformations, cette zone n'est plus tout à fait alignée avec l'axe de la tige filetée.

#### Question 7.

Référence : Annexe 6 et 2

Données :  $C_s = 4$

La contrainte maximale est de 283 Mpa, ce qui nous donne un coefficient de sécurité de 3,3, inférieur au coefficient de sécurité de 4 imposé. On remarque toutefois qu'il n'y a pas de déformation plastique.

**Question 8.**

Référence : Annexe 6

On relève au niveau du contact du câble sur le crochet un déplacement de 0,4 mm.

**II.2 Modélisation du mouflage et des câbles****Question 9.**

Référence : Annexes 3, 7 et 8

Données : Distance entre les poulies : 452 mm, distance entre les brins sur le tambour : charge en haut, 393mm, charge en bas : 1513mm, hauteur de levage 10m

On calcule un angle de déflexion voisin de  $-2^\circ$  en position haute de la charge et de  $3^\circ$  en position basse. Ces valeurs sont conformes à la tenue du câble HP8P utilisé (en valeur absolue entre 0 et  $3,5^\circ$ ). De plus, cette faible valeur nous permet de valider l'hypothèse des câbles tous orientés verticalement.

**Question 10.**

Référence : Annexe 1C

Données : Poids de la charge : 294,3 kN, Masse de la moufle : 300 kg

On prend en compte les rendements, on considère la charge en phase de montée.

$$\text{En projection sur l'axe vertical, on a : } T_1 + T_2 + T_3 + T_4 = \frac{P}{2}$$

$$T_1 \left( 1 + \frac{1}{\eta} + \frac{1}{\eta^2} + \frac{1}{\eta^3} \right) = \frac{P}{2} \quad T_1 \left( 1 + \frac{1}{0,96} + \frac{1}{0,96^2} + \frac{1}{0,96^3} \right) = \frac{294300 + 300 \times 9,81}{2}$$

$$T_1 = 34,9 \text{ kN}$$

De la même façon, on trouve :  $T_2 = 36,4 \text{ kN}$ ,  $T_3 = 37,9 \text{ kN}$  et  $T_4 = 39,5 \text{ kN}$

**Question 11.**

Référence : Annexes 1C, 2 et 7

Données : Rp02 câble = 1680 MPa,

Cs câble = 5, section câble = 140,1mm<sup>2</sup>

Le brin le plus chargé est le 4.

$$\text{Contrainte normale : } \sigma = \frac{F}{S} = \frac{39500}{140,1} = 281,9 \text{ MPa}$$

$$\text{Condition de résistance : } \sigma_{\text{maxi}} \leq \frac{R_{e0,2}}{C_s} \quad \sigma_{\text{maxi}} \leq \frac{1680}{5} \quad \sigma_{\text{maxi}} \leq 336 \text{ MPa}$$

La condition de résistance est vérifiée.

**Question 12.**

Référence : Annexe 2

Données : Hauteur de levage : 10m

Le mouflage impose que l'on dispose au minimum de 2 fois 40m de câble.

**Question 13.**

Référence : Annexe 7

Données : E câble = 110000 MPa, section câble = 140,1mm<sup>2</sup>

L'allongement maximal a lieu charge en bas.

$$\text{Pour le câble 1 : } \Delta l_1 = \frac{FL}{ES} = \frac{34900 \times 10 \cdot 10^3}{110 \cdot 10^3 \times 140,1} = 22,6 \text{ mm}$$

On obtient de la même manière pour les autres câbles :  $\Delta l_2 = 23,6 \text{ mm}$ ,  $\Delta l_3 = 24,6 \text{ mm}$  et  $\Delta l_4 = 25,6 \text{ mm}$ .

Si on considère la moyenne des allongements, on a :  $\Delta l = 24,1 \text{ mm}$

**Question 14.**

Référence : Annexes 2 et 7

Données : Angle de déflexion entre 0 et 3,5°

Coefficient de sécurité Cs = 5

Précision de positionnement vertical de la charge de 30 mm

Le montage des câbles nous donne un angle de déflexion maximal de 3° ce qui est dans l'intervalle préconisé par le constructeur. La contrainte normale maximale dans les câbles ne dépasse pas la contrainte maximale admissible et garantit le coefficient de sécurité de 5 imposé. L'erreur de positionnement vertical due la charge est de 24,1+0,4 = 24,5mm. Cela reste pour le moment inférieur à 30mm.

**II.3 Analyse des déformations du tambour**

**Question 15.**

Lorsque la moufle est remontée, les points B et C se retrouvent très proches du centre du tambour, ce qui maximise le bras de levier. On aura donc dans cette position la déformation la plus importante.

**Question 16.**

On isole le tambour. Bilan des actions mécaniques extérieures appliquées au tambour :

$$\{F_{liaison A}\} = \begin{Bmatrix} X_A \vec{x} + Y_A \vec{y} + Z_A \vec{z} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_A \quad \{F_{liaison D}\} = \begin{Bmatrix} Y_D \vec{y} + Z_D \vec{z} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_D$$

$$\{F_{liaison B}\} = \begin{Bmatrix} -T \vec{y} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_B \quad \{F_{liaison C}\} = \begin{Bmatrix} -T \vec{y} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_C \quad \{F_{moteur}\} = \begin{Bmatrix} \vec{0} \\ -C_m \vec{x} \end{Bmatrix}_A$$

Théorème de la résultante statique :

$$\begin{cases} X_A = 0 \\ Y_A + Y_D - 2T = 0 \\ Z_A + Z_D = 0 \end{cases}$$

Théorème du moment statique au point A :

$$\begin{cases} -C_m + 2r_{te} T = 0 \\ LZ_D = 0 \\ -T l_B - T(l_B + l_{BC}) + LY_D = 0 \end{cases}$$

On trouve :  $Y_D = T$ ,  $Y_A = T$  et  $C_m = 2r_{te} T$

Une rapide analyse des symétries géométriques et de chargement permet de trouver ces valeurs rapidement.

Application numérique :  $Y_D = 39,5 \text{ kN}$ ,  $Y_A = 39,5 \text{ kN}$  et  $C_m = 17 \text{ kN.m}$

**Question 17.**

Tronçon AE :

$$\{T_{int}\} = -\{T_{ext \rightarrow 17}\} = -\begin{Bmatrix} Y_A \vec{y} \\ -C_m \vec{x} \end{Bmatrix}_A = \begin{Bmatrix} -Y_A \vec{y} \\ C_m \vec{x} \end{Bmatrix}_A$$

$$\vec{M}_{G(x)} = \vec{M}_A + \vec{R}_A \wedge \vec{AG}(x) = C_m \vec{x} - Y_A \vec{y} \wedge x \vec{x} = C_m \vec{x} + x Y_A \vec{z}$$

$$\{T_{int}\} = \begin{Bmatrix} -T \vec{y} \\ 2r_{te} T \vec{x} + T x \vec{z} \end{Bmatrix}_{G(x)}$$

Tronçon EF :

$$\{T_{int}\} = \{T_{ext \rightarrow 17}\} = \begin{Bmatrix} -T \vec{y} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_C + \begin{Bmatrix} Y_D \vec{y} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_D$$

$$\vec{M}_{G(x)} = \vec{M}_C + \vec{R}_C \wedge \vec{CG}(x) + \vec{M}_D + \vec{R}_D \wedge \vec{DG}(x)$$

$$\vec{M}_{G(x)} = -T \vec{y} \wedge -(l_B + l_{BC} - x) \vec{x} + r_{te} \vec{z} + T \vec{y} \wedge -(L - x) \vec{x}$$

$$\vec{M}_{G(x)} = -T(l_B + l_{BC} - x) \vec{z} + T r_{te} \vec{x} + T(L - x) \vec{z}$$

$$\{T_{int}\} = \begin{Bmatrix} \vec{0} \\ r_{te} T \vec{x} + l_B T \vec{z} \end{Bmatrix}_{G(x)}$$

Tronçon FD :

$$\{T_{int}\} = \{T_{ext \rightarrow 17}\} = \begin{Bmatrix} Y_D \vec{y} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_D$$

$$\vec{M}_{G(x)} = \vec{M}_D + \vec{R}_D \wedge \vec{DG}(x) = T \vec{y} \wedge -(L - x) \vec{x} = T(L - x) \vec{z}$$

$$\{T_{int}\} = \left\{ \begin{array}{c} T\vec{y} \\ T(L-x)\vec{z} \end{array} \right\}_{G(x)}$$

**Question 18.**

Contraintes dues à la flexion :  $\sigma_f(x,y,z) = \frac{-M_{fz}(x)}{I_{Gz}} y$

$$\text{On détaille : } \sigma_f(x,y,z) = \begin{cases} \frac{-Tx}{I_{Gz}} y & \text{pour } 0 < x < l_B \\ \frac{-Tl_B}{I_{Gz}} y & \text{pour } l_B < x < L-l_B \\ \frac{-T(L-x)}{I_{Gz}} y & \text{pour } L-l_B < x < L \end{cases}$$

**Question 19.**

Contraintes dues à la torsion :  $\tau_t(x,y,z) = \frac{M_t(x)}{I_{G0}} r = \frac{M_t(x)}{I_{G0}} \sqrt{y^2+z^2}$

$$\text{On détaille : } \tau_t(x,y,z) = \begin{cases} \frac{2rT}{I_{G0}} \sqrt{y^2+z^2} & \text{pour } 0 < x < l_B \\ \frac{rT}{I_{G0}} \sqrt{y^2+z^2} & \text{pour } l_B < x < L-l_B \\ 0 & \text{pour } L-l_B < x < L \end{cases}$$

**Question 20.**

En M, la contrainte est maximale car les moments de flexion et de torsion y sont maximaux.

Soit  $|\sigma_f(M)| = \frac{Tl_B}{I_{Gz}} r_{te}$  et  $|\tau_t(M)| = \frac{2rT}{I_{G0}} r_{te}$

On a :  $\sigma_{\text{Von Mises}}(M)^2 = \frac{T^2 l_B^2}{I_{Gz}^2} r_{te}^2 + \frac{12r^2 T^2}{I_{G0}^2} r_{te}^2$

Avec :  $I_{Gz} = \frac{\pi(r_{te}^4 - r_{ti}^4)}{4}$  et  $I_{G0} = \frac{\pi(r_{te}^4 - r_{ti}^4)}{2}$

$$\sigma_{\text{Von Mises}}(M)^2 = \frac{4T^2 r_{te}^2}{\pi^2 (r_{te}^4 - r_{ti}^4)} (4l_B^2 + 12r^2) = \frac{16T^2 r_{te}^2}{\pi^2 (r_{te}^4 - r_{ti}^4)} (l_B^2 + 3r^2)$$

$$\sigma_{\text{Von Mises}}(M) = \frac{4Tr_{te}}{\pi(r_{te}^4 - r_{ti}^4)} \sqrt{(l_B^2 + 3r^2)}$$

Application numérique faite, on trouve une contrainte de Von Mises maximale de 12,36 MPa.

**Question 21.**

Angle unitaire de torsion :  $\alpha = \frac{M_t}{GI_{G0}}$

On a :  $\theta_{AE}(x) = \theta(0) + \alpha_{AE} x = \theta_0 + \frac{2rT}{GI_{G0}} x$  et  $\theta_{AE}(l_B) = \theta_0 + \frac{2rT}{GI_{G0}} l_B$

$\theta_{EF}(x) = \theta_{AE}(l_B) + \frac{rT}{GI_{G0}} (x - l_B) = \theta_0 + \frac{rT}{GI_{G0}} (x + l_B)$  et  $\theta_{EF}(L - l_B) = \theta_0 + \frac{rT}{GI_{G0}} L$

$\theta_{FD}(x) = \theta_{EF}(L - l_B) = \theta_0 + \frac{rT}{GI_{G0}} L$

**Question 22.**

Déformation due à la flexion :  $EI_{Gz} y''(x) = -M_{fz}(x)$

Tronçon AE :

$$\begin{aligned} EI_{Gz} y''_{AE} &= -Tx \\ EI_{Gz} y'_{AE} &= -\frac{T}{2} x^2 + C_1 \\ EI_{Gz} y_{AE} &= -\frac{T}{6} x^3 + C_1 x + C_2 \end{aligned}$$

De même  $EI_{Gz} y_{EF} = -\frac{l_B T}{2} x^2 + C_3 x + C_4$  et  $EI_{Gz} y_{FD} = \frac{T}{6} x^3 - \frac{Tl}{2} x^2 + C_5 x + C_6$

Conditions aux limites :

$$y_{AE}(0) = y_{FD}(L) = 0$$

$$y_{AE}(l_B) = y_{EF}(l_B) \text{ et } y'_{AE}(l_B) = y'_{EF}(l_B)$$

$$y_{EF}(L - l_B) = y_{FD}(L - l_B) \text{ et } y'_{EF}(L - l_B) = y'_{FD}(L - l_B)$$

**Question 23 :**

$$\text{Déplacement en B : } v_{\text{Total B}} = y(l_B) + r\theta(l_B) = y(l_B) + r\theta_0 + \frac{2r^2T}{Gl_{G0}} l_B$$

$$\text{Déplacement en C : } v_{\text{Total C}} = y(L-l_B) + r\theta(L-l_B) = y(L-l_B) + r\theta_0 + \frac{r^2T}{Gl_{G0}} L$$

$$\text{Déplacement de la charge : } v_{\text{Charge}} = \frac{1}{4} \frac{v_{\text{Total B}} + v_{\text{Total C}}}{2} = \frac{1}{4} \left( \frac{y(l_B) + y(L-l_B)}{2} + r\theta_0 + \frac{r^2T}{2Gl_{G0}} (2l_B + L) \right)$$

Application numérique faite, on a :  $v_{\text{Charge}} \approx 0,03 \text{ mm}$

**Question 24.**

L'erreur de positionnement vertical de la charge due à la déformation du tambour est inférieure à la valeur limite autorisée.

**II.4 Analyse des déformations de la portée****Question 25.**

On applique le PFS à la poutre :

$$\text{Th de la résultante en projection sur x et y } \begin{cases} X_A + X_D = 0 \\ Y_A - F_B - F_C + Y_D = 0 \end{cases}$$

$$\text{Th du moment statique au point A en projection sur z : } -l_B F_B - l_C F_C + L Y_D = 0$$

Il faut choisir comme inconnue hyperstatique  $X_A$  ou  $X_D$

Expression du moment de flexion :

$$\text{Tronçon AB : } M_{fAB}(x) = -(l_B - x)F_B - (l_C - x)F_C + (L - x) \left( \frac{l_B}{L} F_B + \frac{l_C}{L} F_C \right) = \frac{1}{L} \left[ (L - l_B)x F_B + (L - l_C)x F_C \right]$$

$$\text{Tronçon BC : } M_{fBC}(x) = -(l_C - x)F_C + (L - x) \left( \frac{l_B}{L} F_B + \frac{l_C}{L} F_C \right) = \frac{1}{L} \left[ l_B(L - x)F_B + (L - l_C)x F_C \right]$$

$$\text{Tronçon CD : } M_{fCD}(x) = \frac{1}{L}$$

**Question 26.**

Il n'est pas nécessaire de lever l'hyperstatisme, car aucune des inconnues hyperstatiques possibles ( $X_A$  ou  $X_D$ ) n'intervient dans l'expression du moment de flexion.

**Question 27.**

On calcule l'énergie de déformation, on dérive ensuite par rapport à  $F_B$  et  $F_C$ , on remplace ensuite  $F_B$  et  $F_C$  par  $F$ .

**Question 28.**

$$I_{Gz} = \iint_{\text{section}} y^2 ds = \iint_{\text{section}} y^2 dy dz$$

Le calcul peut se faire par l'intermédiaire de différents découpages de la surface, qui nécessitent des calculs plus ou moins longs. On obtient finalement  $I_{Gz} = 4,33 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$

**Question 29.**

$$v_B = \frac{F}{6EI_{Gz}L} (2L^2 l_B^2 + 2L^2 l_B l_C - 5L l_B^3 - 3L l_B l_C^2 + 2l_B^4 + l_B^3 l_C + l_B l_C^3)$$

$$v_C = \frac{F}{6EI_{Gz}L} (2L^2 l_C^2 + 2L^2 l_B l_C - L l_B^3 - 3L l_B l_C^2 + 2l_C^4 + l_B^3 l_C + l_B l_C^3 - 4L l_C^3)$$

Application numérique faite, on trouve :  $v_B = 6,7 \text{ mm}$  et  $v_C = 6,7 \text{ mm}$

**Question 30.**

Certains déplacements sont acceptables individuellement, mais on doit s'assurer que leur cumul reste acceptable. Faisons le bilan :

$$\Delta L_{\text{crochet}} = 0,4 \text{ mm}$$

$$\Delta L_{\text{câbles}} = 24,1 \text{ mm}$$

$$\Delta L_{\text{tambour}} = 0,03 \text{ mm}$$

$$\Delta L_{\text{poutres centrales}} = 6,7 \text{ mm}$$

$$\Delta L_{\text{total}} = 0,4 + 24,1 + 0,13 + 6,7 = 31,23 \text{ mm}$$

Le cahier des charges (exigence 1.6) n'est pas respecté. On peut diminuer les déformations en agissant sur les paramètres les plus influents, à savoir le câble et les poutres centrales. On peut travailler sur la rigidité des éléments, on peut aussi intégrer ces déformations dans la logique de commande (puisque le modèle est connu).

**III. Étude de la motorisation du levage****III.1 Vérification de la tenue des câbles sur le tambour****Question 31.**

$$\vec{F} + d\vec{F} + d\vec{Q} = \vec{0} \text{ avec } \|\vec{F}\| = F, \|\vec{F}'\| = F + dF \text{ et } d\vec{Q} = d\vec{N} + d\vec{T}$$

$$\text{En projection sur } \vec{e}_r \text{ et } \vec{e}_\theta \quad \begin{cases} -(F+dF)\sin\frac{d\theta}{2} - F\sin\frac{d\theta}{2} + dN = 0 \\ -(F+dF)\cos\frac{d\theta}{2} - F\cos\frac{d\theta}{2} + fdN = 0 \end{cases}$$

**Question 32.**

Comme  $d\theta$  et  $dF$  sont petits,  $\sin\frac{d\theta}{2} \approx \frac{d\theta}{2}$ ,  $\cos\frac{d\theta}{2} \approx 1$  et  $d\theta dF \approx 0$

$$\text{On trouve : } \begin{cases} -Fd\theta + dN = 0 \\ -dF + fdN = 0 \end{cases}$$

**Question 33.**

$$\begin{cases} dN = Fd\theta \\ dN = \frac{dF}{f} \end{cases} \text{ donc } fd\theta = \frac{dF}{F}$$

$$\text{On intègre : } f \int_{\theta=0}^{\alpha} d\theta = \int_t^T \frac{dF}{F}; \text{ cela permet d'obtenir finalement } \frac{T}{t} = e^{f\alpha}$$

**Question 34.**

Référence : Annexe 8

Données : 32 spires enroulées sur un diamètre de 430mm

$$\text{Nombre de tours à enrouler pour 40m de câble : } N = \frac{40}{0,430\pi} = 29,61 \text{ tour}$$

On dispose de 32 tours d'enroulement sur le tambour. Celui-ci convient.

**Question 35.**

$$\text{Tension du câble au niveau du premier crampon d'accroche : } t = \frac{T}{e^{f\alpha}} = \frac{39500}{e^{0,2(32-29,61)2\pi}} = 1960 \text{ N}$$

La tension est très inférieure à celle imposée par le fabricant des crampons. L'exigence est vérifiée.

**Question 36.**

Pour une hauteur de levée de 40m, les 32 spires d'enroulement suffisent, et nous permettent d'avoir une petite marge au niveau de la tenue du câble lorsque les 40m de câble sont déroulés.

### III.2 Modélisation de la dynamique du levage

#### Question 37.

$$k = (-1)^3 \frac{Z_B \times Z_C \times Z_D}{Z_F \times Z_E \times Z_A} = -\frac{16 \times 16 \times 15}{87 \times 83 \times 64} = -8,31 \cdot 10^{-3}$$

Par la suite, on ne considèrera pas le sens de rotation.

#### Question 38.

Référence : Annexes 2, 1D et 8

Données : Vitesse de levage minimum 3m/min ,

vitesse rotation moteur  $N_e = 1486$  tr/min,

Rayon d'enroulement tambour  $r_{te} = 0,215$ m

$$V_{Lmax} = \frac{1}{4} \left( \frac{2\pi N_e}{60} k r_{te} \right) = \frac{1}{4} \left( \frac{2\pi \cdot 1486}{60} \cdot 8,31 \cdot 10^{-3} \cdot 0,215 \right) = 0,0695 \text{ m/s soit } 4,2 \text{ m/min}$$

L'exigence 1.5 relative à la vitesse de déplacement est vérifiée.

#### Question 39.

$$E_C = \frac{1}{2} \left[ J_e \omega_e^2 + J_1 \left( \omega_e \frac{Z_B}{Z_F} \right)^2 + J_2 \left( \omega_e \frac{Z_B \cdot Z_C}{Z_F \cdot Z_E} \right)^2 + J_S (\omega_e k)^2 + M \left( \frac{R \omega_e k}{4} \right)^2 \right]$$

$$E_C = \frac{1}{2} \omega_e^2 \left[ J_e + J_1 \left( \frac{Z_B}{Z_F} \right)^2 + J_2 \left( \frac{Z_B \cdot Z_C}{Z_F \cdot Z_E} \right)^2 + J_S k^2 + \frac{MR^2}{16} k^2 \right] = \frac{1}{2} \omega_e^2 J_{eq}$$

#### Question 40.

Liaisons pivots parfaites et sans frottements  $P_{int} = 0$

Puissance motrice :  $P_e = C_e \omega_e$

Puissance poids de la charge :  $P_c = -MgV_{Lmax} = -\frac{1}{4} Mg \omega_e k r_{te}$

#### Question 41.

$$\frac{dE_C}{dt} = P_e - P_c \text{ donc } \dot{\omega}_e J_{eq} \omega_e = C_e \omega_e - \frac{1}{4} Mg \omega_e k r_{te}$$

$$C_e = \frac{1}{4} Mg k r_{te} + \dot{\omega}_e J_{eq} = \frac{1}{4} Mg k r_{te} + \dot{\omega}_e \left[ J_e + J_1 \left( \frac{Z_B}{Z_F} \right)^2 + J_2 \left( \frac{Z_B \cdot Z_C}{Z_F \cdot Z_E} \right)^2 + J_S k^2 + \frac{MR^2}{16} k^2 \right]$$

$a$  est le couple nécessaire au maintien en équilibre de la charge et  $b \dot{\omega}_e$  le couple nécessaire à l'accélération de la charge.

#### Question 42.

Référence : Annexes 9 et 1C

Données : masse levée 30,3T, moteur LSES280SD 4 poles, moment nominal 482 Nm

Calcul de l'inertie équivalente :  $J_{eq} = J_e + J_1 \left( \frac{Z_B}{Z_F} \right)^2 + J_2 \left( \frac{Z_B \cdot Z_C}{Z_F \cdot Z_E} \right)^2 + J_S k^2 + \frac{MR^2}{16} k^2 = 1,142 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

Couple nécessaire au maintien de la charge :  $C_{em} = \frac{1}{4} Mg k r_{te} = 132,8 \text{ Nm}$

Couple nécessaire à l'accélération de la charge pour  $\omega_e = \frac{2\pi \cdot 1486}{60}$  :  $C_{ea} = \dot{\omega}_e J_{eq} = 177,7 \text{ Nm}$

Couple maximum nécessaire :  $C_e = C_{em} + C_{ea} = 310,5 \text{ Nm}$

En termes de fréquence de rotation et de couple nominal, le moteur convient.

### III.3 Vérification du dimensionnement du dispositif de freinage

#### Question 43.

Les tracés sont classiques et se justifient par les principes physiques suivants :

- application du principe des actions réciproques,
- l'intersection des droites supports en un point traduit le théorème du moment statique,
- le « triangle des forces » traduit le théorème de la résultante statique.

#### Question 44.

Le tracé doit conduire à une intensité de la force exercée sur une garniture  $F_{\max}$  de l'ordre de 11600 N. En tenant compte du coefficient de frottement  $f$  (donné dans l'annexe 10) et du rayon du tambour  $r_{\text{tamb}}$  (donné dans l'annexe 1C), on arrive à :  $C_{\text{frmax}} = 2r_{\text{tamb}} F_{\max} \sin(\arctan(f)) \approx 807,7 \text{ Nm}$

#### Question 45.

$$V(t) = \dot{V}t + V_{L\max} \text{ car } V(0) = V_{L\max}$$

Par intégration, on en déduit  $H(t) = \frac{\dot{V}}{2}t^2 + V_{L\max}t + H(0)$ , d'où  $\Delta H(t) = H(t) - H(0) = \frac{\dot{V}}{2}t^2 + V_{L\max}t$

La charge s'immobilise au temps  $t_i$  tel que  $V(t_i) = 0$ , ce qui donne  $t_i = \frac{-V_{L\max}}{\dot{V}}$

$$\text{D'où finalement } \Delta H = \frac{-V_{L\max}^2}{2\dot{V}} \text{ et } \dot{\omega}_{\text{fr}} = \dot{\omega}_e = \dot{V} = \frac{-V_{L\max}^2}{2\Delta H}$$

#### Question 46.

$$C_{\text{frmax}} = \alpha + \beta \dot{\omega}_{\text{fr}} = \alpha - \frac{\beta V_{L\max}^2}{2\Delta H} \text{ donc } \Delta H = \frac{\beta V_{L\max}^2}{2(\alpha - C_{\text{frmax}})} \approx -9,30 \text{ mm}$$

#### Question 47.

Le recueil des exigences partiel (annexe 2) impose une distance d'arrêt maximale de 0,01m. Dans le pire des cas (charge lancée en descente à la vitesse maximale), celle-ci est respectée mais de peu.

## IV. Modélisation de la dynamique du pont roulant

### IV.1 Analyse du balancement - Premier modèle

#### Question 48.

$$\text{On part du vecteur position } \overrightarrow{OM_3} = u\vec{x} + l_3\vec{e}_{r_3}$$

On en déduit (soit directement par utilisation de la formule de Bour, soit en passant par l'expression

$$\text{du vecteur position dans la base associée à } R_0) : \overrightarrow{V(M_3/R_0)} = \dot{u}\vec{x} + \dot{l}_3\vec{e}_{r_3} + l_3\dot{\theta}\vec{e}_{\theta_3}$$

$$\text{Par dérivation, on obtient } \overrightarrow{a(M_3/R_0)} = \ddot{u}\vec{x} + (\dot{l}_3 - l_3\dot{\theta}^2)\vec{e}_{r_3} + (2\dot{l}_3\dot{\theta} + l_3\ddot{\theta})\vec{e}_{\theta_3}$$

#### Question 49.

Les actions mécaniques exercées par l'extérieur sur la charge 3 sont modélisées deux forces ponctuelles :

- force due à la gravité :  $(P_3) \vec{r} = -m_3 g \vec{y}$
- force exercée par le câble sur la charge :  $\overrightarrow{T_{\text{cable} \rightarrow 3}} = -T_3 \vec{e}_{r_3}$

Le principe fondamental de la dynamique appliqué à la charge 3 donne :

$$\overrightarrow{P_3} + \overrightarrow{T_{\text{cable} \rightarrow 3}} = m_3 \overrightarrow{a(M_3/R_0)}$$

$$-m_3 g \vec{y} - T_3 \vec{e}_{r_3} = m_3 \ddot{u} \vec{x} + m_3 (\dot{l}_3 - l_3 \dot{\theta}^2) \vec{e}_{r_3} + m_3 (2\dot{l}_3 \dot{\theta} + l_3 \ddot{\theta}) \vec{e}_{\theta_3}$$

En projetant cette relation sur  $\vec{e}_{\theta_3}$  on obtient  $\dot{u} \cos(\theta) + l_3 \ddot{\theta} + g \sin(\theta) = 0$

**Question 50.**

On a  $a(t)=a_0$ , alors  $V(t)=a_0 t$  (car  $V(0)=0$ ) donc  $V_{\max}=a_0 t_{\max}$ , d'où  $a_0 = \frac{V_{\max}}{t_{\max}}$

**Question 51.**

L'accélération du chariot est constante et connue donc  $\ddot{u}=a_0$

L'équation différentielle obtenue à la question 49 devient alors  $a_0 \cos(\theta) + l_3 \ddot{\theta} + g \sin(\theta) = 0$

En faisant l'hypothèse que l'angle  $\theta$  reste faible, elle devient  $a_0 + l_3 \ddot{\theta} + g\theta = 0$

La solution homogène d'une telle équation est de la forme  $\theta_H(t) = C \sin(\omega t + \phi)$  avec  $C$  une constante.

Une solution particulière est  $\theta_P = -\frac{a_0}{g}$ . La solution est donc du type  $\theta(t) = C \sin(\omega t + \phi) - \frac{a_0}{g}$

On en déduit  $\dot{\theta}(t) = \omega C \cos(\omega t + \phi)$  et  $\theta(t) = -\Omega^2 C \sin(\omega t + \phi)$

En remplaçant  $\theta$  et ses dérivées par leurs expressions dans l'équation différentielle, on montre que  $C(g - l_3 \omega^2) \sin(\omega t + \phi) = 0$  d'où on déduit  $\omega = \sqrt{\frac{g}{l_3}}$

En prenant  $\theta(0) = 0$  et  $\dot{\theta}(0) = 0$ , on montre que  $C = \frac{a_0}{g}$  et  $\phi = \frac{\pi}{2}$

On arrive donc à la forme  $\theta(t) = \frac{a_0}{g} \left[ \cos\left(\sqrt{\frac{g}{l_3}} t\right) - 1 \right]$ , ce qui correspond à la forme attendue avec  $A = \frac{a_0}{g}$  et

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l_3}}$$

**Question 52.**

On a  $\Delta x = x(t) - u(t)$  avec  $x(t) = u(t) + l_3 \sin(\theta(t))$  donc  $\Delta x = l_3 \sin(\theta(t))$ .

On a  $\Delta y = y(t) - (-l_3)$  avec  $y(t) = -l_3 \cos(\theta(t))$  donc  $\Delta x = l_3 - l_3 \cos(\theta(t))$ .

En remplaçant  $\theta(t)$  dans ses expressions, on obtient :

$$\Delta x = l_3 \sin\left(A \left[ \cos\left(\sqrt{\frac{g}{l_3}} t\right) - 1 \right]\right) = l_3 \sin\left(\frac{a_0}{g} \left[ \cos\left(\sqrt{\frac{g}{l_3}} t\right) - 1 \right]\right)$$

$$\Delta y = l_3 - l_3 \cos\left(A \left[ \cos\left(\sqrt{\frac{g}{l_3}} t\right) - 1 \right]\right) = l_3 - l_3 \cos\left(\frac{a_0}{g} \left[ \cos\left(\sqrt{\frac{g}{l_3}} t\right) - 1 \right]\right)$$

**Question 53.**

On peut lire sur la figure 13  $\Delta x = 916$  mm et  $\Delta y = 47$  mm. Or le recueil des exigences partiel présenté en annexe 2 nous demande d'assurer la précision horizontale et la précision verticale avec une précision de 30 mm. En l'absence d'anti-ballant, ce système ne vérifie donc pas l'exigence « Assurer la sécurité ».

**IV.2 Analyse du balancement - Deuxième modèle****Question 54.**

Considérer que  $l_2$  est variable permet de faire apparaître la tension du câble dans les équations de Lagrange, et donc de déterminer sa valeur. Cela pourrait permettre par la suite de vérifier le bon dimensionnement du câble dans le cas d'oscillations (résistance mécanique et élongation).

Comme notre but ici est d'établir les lois de mouvement uniquement, on se limitera au paramétrage strict  $(u, \theta_2, \theta_3)$ . On considèrera donc que  $l_2$  est une constante.

**Question 55.**

$$\begin{cases} x_2 = u + l_2 \sin(\theta_2) \\ y_2 = -l_2 \cos(\theta_2) \end{cases} \text{ d'où } \begin{cases} \dot{x}_2 = \dot{u} + l_2 \dot{\theta}_2 \cos(\theta_2) \\ \dot{y}_2 = l_2 \dot{\theta}_2 \sin(\theta_2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_3 = u + l_2 \sin(\theta_2) + l_3 \sin(\theta_3) \\ y_3 = -l_2 \cos(\theta_2) - l_3 \cos(\theta_3) \end{cases} \text{ d'où } \begin{cases} \dot{x}_3 = \dot{u} + l_2 \dot{\theta}_2 \cos(\theta_2) + l_3 \dot{\theta}_3 \cos(\theta_3) \\ \dot{y}_3 = l_2 \dot{\theta}_2 \sin(\theta_2) + l_3 \dot{\theta}_3 \sin(\theta_3) \end{cases}$$

**Question 56.**

$T_S = T_1 + T_2 + T_3$  avec :

- $T_1 = \frac{1}{2} m_1 \dot{u}^2$
- $T_2 = \frac{1}{2} m_2 (\dot{x}_2^2 + \dot{y}_2^2) = \frac{1}{2} m_2 \left( \dot{u}^2 + l_2^2 \dot{\theta}_2^2 + 2\dot{u} l_2 \dot{\theta}_2 \cos(\theta_2) \right)$
- $T_3 = \frac{1}{2} m_3 (\dot{x}_3^2 + \dot{y}_3^2) = \frac{1}{2} m_3 \left( \dot{u}^2 + l_2^2 \dot{\theta}_2^2 + l_3^2 \dot{\theta}_3^2 + 2\dot{u} (l_2 \dot{\theta}_2 \cos(\theta_2) + l_3 \dot{\theta}_3 \cos(\theta_3)) + 2l_2 l_3 \dot{\theta}_2 \dot{\theta}_3 \cos(\theta_2 - \theta_3) \right)$

D'où finalement

$$T_S = \frac{1}{2} m_{123} \dot{u}^2 + \frac{1}{2} m_{23} \left( \dot{u}^2 + l_2^2 \dot{\theta}_2^2 + 2\dot{u} l_2 \dot{\theta}_2 \cos(\theta_2) \right) + \frac{1}{2} m_3 \left( l_3^2 \dot{\theta}_3^2 + 2\dot{u} l_3 \dot{\theta}_3 \cos(\theta_3) + 2l_2 l_3 \dot{\theta}_2 \dot{\theta}_3 \cos(\theta_2 - \theta_3) \right)$$

De même  $U_S = U_1 + U_2 + U_3$  avec (en prenant l'altitude du rail comme référence) :

- $U_1 = 0$
- $U_2 = m_2 g y_2 = -m_2 g l_2 \cos(\theta_2)$
- $U_3 = m_3 g y_3 = -m_3 g (l_2 \cos(\theta_2) + l_3 \cos(\theta_3))$

D'où finalement  $U_S = -m_{23} g l_2 \cos(\theta_2) - m_3 g l_3 \cos(\theta_3)$

On en déduit directement l'expression du lagrangien du système :

$$L_S = T_S - U_S = \frac{1}{2} m_{123} \dot{u}^2 + \frac{1}{2} m_{23} \left( l_2^2 \dot{\theta}_2^2 + 2\dot{u} l_2 \dot{\theta}_2 \cos(\theta_2) + 2g l_2 \cos(\theta_2) \right) + \frac{1}{2} m_3 \left( l_3^2 \dot{\theta}_3^2 + 2\dot{u} l_3 \dot{\theta}_3 \cos(\theta_3) + 2g l_3 \cos(\theta_3) + 2l_2 l_3 \dot{\theta}_2 \dot{\theta}_3 \cos(\theta_2 - \theta_3) \right)$$

**Question 57.**

Le paramétrage respecte les liaisons et les liaisons sont parfaites, donc les forces généralisées de liaison sont nulles.

**Question 58.**

On a  $\{F_{\text{mot} \rightarrow 1}\} = \left\{ \begin{matrix} F_{\text{mot}} \vec{x} \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}$

Tout mouvement virtuel cinématique admissible est de la forme  $\{V_{1/0}\} = \left\{ \begin{matrix} \vec{0} \\ u \vec{x} \end{matrix} \right\}$

On en déduit la puissance virtuelle développée par le force motrice  $P_{\text{mot}}^* = \{F_{\text{mot} \rightarrow 1}\} \otimes \{V_{1/0}\} = F_{\text{mot}} u^*$

Par identification, on en déduit  $Q_u = F_{\text{mot}}$ ,  $Q_{\theta_2} = 0$  et  $Q_{\theta_3} = 0$ .

**Question 59.**

Equation de Lagrange associée au paramètre  $u$  :

$$\frac{\partial L}{\partial u} = m_{123} \dot{u} + m_{23} l_2 \dot{\theta}_2 \cos(\theta_2) + m_3 l_3 \dot{\theta}_3 \cos(\theta_3)$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{u}} = m_{123} \ddot{u} + m_{23} l_2 \left( \ddot{\theta}_2 \cos(\theta_2) - \dot{\theta}_2^2 \sin(\theta_2) \right) + m_3 l_3 \left( \ddot{\theta}_3 \cos(\theta_3) - \dot{\theta}_3^2 \sin(\theta_3) \right)$$

$$\frac{\partial L}{\partial u} = 0$$

D'où finalement

$$m_{123} \ddot{u} + m_{23} l_2 \left( \ddot{\theta}_2 \cos(\theta_2) - \dot{\theta}_2^2 \sin(\theta_2) \right) + m_3 l_3 \left( \ddot{\theta}_3 \cos(\theta_3) - \dot{\theta}_3^2 \sin(\theta_3) \right) = F_{\text{mot}}$$

Equation de Lagrange associée au paramètre  $\theta_3$  :

$$\frac{\partial L}{\partial \theta_3} = m_3 l_3 \left( l_3 \dot{\theta}_3 + \dot{u} \cos(\theta_3) + l_2 \dot{\theta}_2 \cos(\theta_2 - \theta_3) \right)$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_3} = m_3 l_3 \left( l_3 \ddot{\theta}_3 + \ddot{u} \cos(\theta_3) - \dot{u} \dot{\theta}_3 \sin(\theta_3) + l_2 \ddot{\theta}_2 \cos(\theta_2 - \theta_3) - l_2 \dot{\theta}_2 (\dot{\theta}_2 - \dot{\theta}_3) \sin(\theta_2 - \theta_3) \right)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \theta_3} = m_3 l_3 \left( -\dot{u} \dot{\theta}_3 \sin(\theta_3) - g \sin(\theta_3) + l_2 \dot{\theta}_2 \dot{\theta}_3 \sin(\theta_2 - \theta_3) \right)$$

D'où finalement

$$l_3 \ddot{\theta}_3 + \dot{u} \cos(\theta_3) + l_2 \dot{\theta}_2 \cos(\theta_2 - \theta_3) - l_2 \dot{\theta}_2^2 \sin(\theta_2 - \theta_3) + g \sin(\theta_3) = 0$$

**Question 60.**

On obtient les équations données en remplaçant  $\cos(\theta_i)$  par 1 et  $\sin(\theta_i)$  par  $\theta_i$  dans les équations obtenues à la question 58.

**Question 61.**

Ces équations permettent de lier les évolutions temporelles de  $\theta_2$  et  $\theta_3$  à celle de  $u$ . Or ces deux angles sont directement liés aux erreurs de positionnement horizontal et vertical de la charge. Ces équations peuvent donc être utilisées pour déterminer une loi horaire de  $u$  qui minimise l'erreur de positionnement en minimisant les angles  $\theta_2$  et  $\theta_3$ .

**Question 62.**

Les différents modèles développés permettent de conclure que le système n'assure pas intrinsèquement la sécurité des équipes et des biens. En effet, deux phénomènes en particulier occasionnent (indépendamment l'un de l'autre) une erreur de positionnement supérieure à la limite admissible.

La première est la déformation des différents éléments supportant la charge. Deux pistes peuvent être envisagées pour résoudre ce problème :

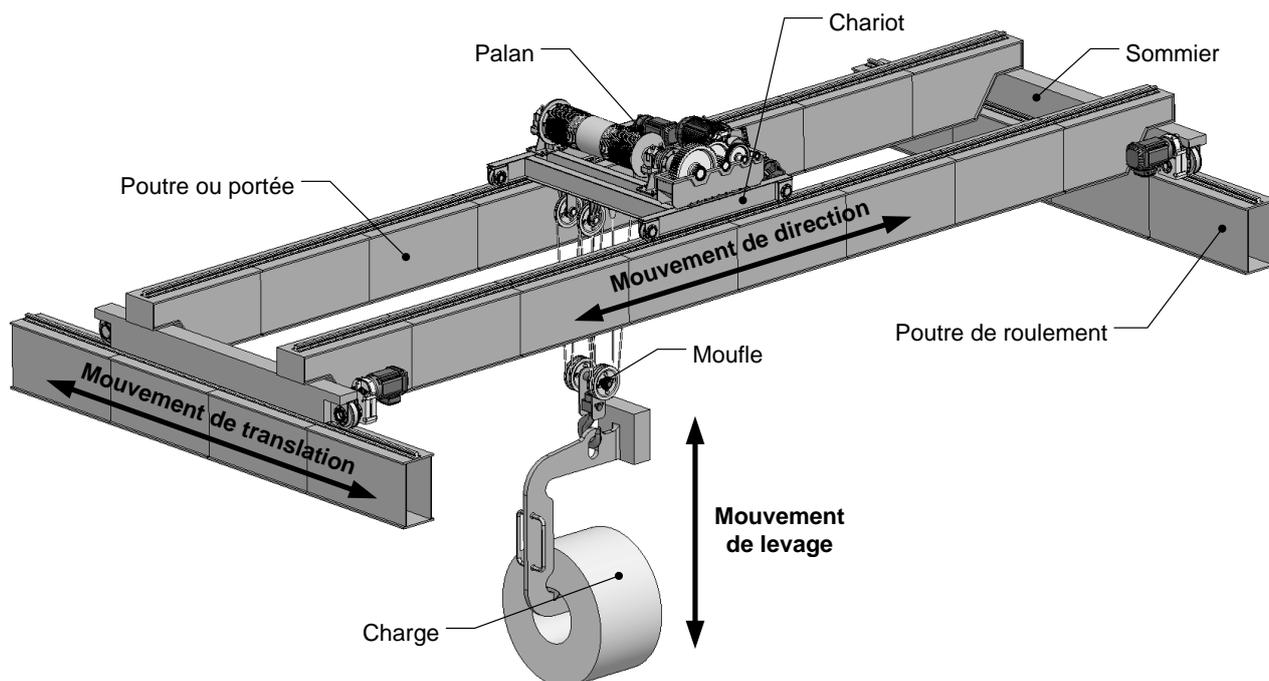
- reprendre la conception d'un ou plusieurs des éléments de façon à réduire leur déformation sous charge,
- prendre en compte la déformation d'un ou plusieurs éléments dans la commande, grâce aux modèles développés.

La seconde cause est le balancement de la charge dans sa phase de translation horizontale, qui peut générer des erreurs de positionnement de l'ordre du mètre. Le modèle développé dans la dernière partie pourrait servir à déterminer une loi horaire de pilotage de la translation du chariot qui minimiserait le balancement de la charge.

# Rapport du jury de l'épreuve de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation

## 1. Présentation du sujet

Le sujet portait sur la modélisation d'un pont roulant destiné à transporter de lourdes charges. L'objectif était de vérifier le respect intrinsèque des exigences liées à la sécurité. Dans le cas où celles-ci ne seraient pas vérifiées, on souhaite établir des modèles permettant d'élaborer une commande qui permettra le respect des exigences de sécurité.



L'étude se décomposait en quatre parties :

- la première partie, dépourvue de questions, permettait de s'appropriier le sujet et le contexte d'étude ;
- la deuxième partie avait pour objectif de vérifier le bon comportement statique du système de levage ;
- la troisième partie portait sur le comportement dynamique du système de levage et en particulier sa motorisation et son freinage ;
- la quatrième partie du sujet s'intéressait quant à elle au comportement dynamique du pont roulant dans le mouvement de direction.

## 2. Analyse globale des résultats

L'évaluation des copies montre une très forte hétérogénéité dans le traitement du sujet. Certains candidats ont cherché à avancer le plus possible dans chacune des parties qu'ils ont abordées, quand d'autres ont répondu à des questions isolées. Les copies de ces derniers, souvent désorganisées, ne leur ont pas permis de mettre en avant des compétences de synthèse et d'analyse. Le jury constate néanmoins que la plupart des candidats ont su choisir les sous-parties qu'ils préféreraient traiter.

Le jury constate chez certains candidats un manque de maîtrise du français scientifique, qui se traduit aussi bien par une mauvaise compréhension de la question posée que par des explications peu claires. Le même constat est fait concernant le manque de rigueur dans l'écriture scientifique (point d'expression des torseurs, flèches sur les vecteurs, etc.).

La qualité de rédaction et de présentation des copies se révèle ainsi très diverse. La présentation claire des méthodes et raisonnements, ainsi qu'un soin tout particulier porté sur l'orthographe et le respect des conventions de l'écriture scientifique sont des compétences fondamentales pour tout lauréat de l'agrégation. Les candidats qui ont démontré ces qualités ont en grande majorité bien réussi l'épreuve.

Les corrections ont révélé une maîtrise insuffisante des outils de modélisation et de résolutions des problèmes posés : certains candidats ne savent pas mettre en œuvre correctement le principe fondamental de la statique, ni par une méthode graphique ni par une méthode analytique, ce qui apparaît surprenant au vu du niveau attendu des agrégés. Les questions sur la compréhension des phénomènes physiques à l'œuvre et l'utilisation fine des techniques de résolution (des outils de la statique graphique aux équations de Lagrange) ont ensuite révélé que, parmi les candidats sachant utiliser les outils classiques de la mécanique, peu en saisissent tous les aspects alors qu'on s'y attendrait de la part de candidats pouvant être amenés à enseigner dans le supérieur.

Le jury tient à rappeler que la résolution d'un problème technique de sciences de l'ingénieur nécessite de mettre en œuvre un raisonnement scientifique rigoureux avec la formulation d'hypothèses (qui peuvent être vérifiées a posteriori) afin de valider ou non un résultat. Ainsi, il est nécessaire que les étapes relatives à la modélisation et la résolution d'un problème soient menées avec rigueur. Le raisonnement est privilégié par rapport au seul résultat.

### 3. Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux candidats

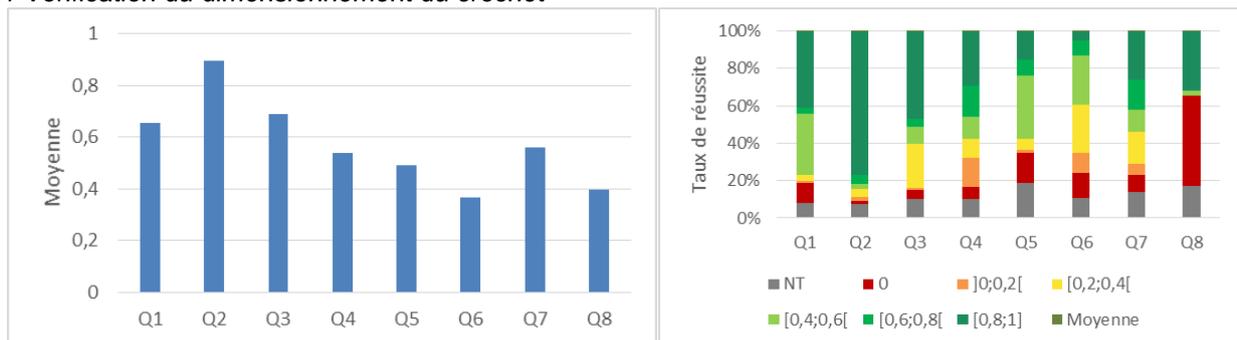
Les graphiques suivants indiquent respectivement, pour chaque question de la sous-partie concernée :

- la note moyenne normalisée obtenue par les candidats ayant traité la question,
- la répartition des notes normalisées parmi les candidats présents à l'épreuve.

#### II. Validation du comportement statique du système de levage

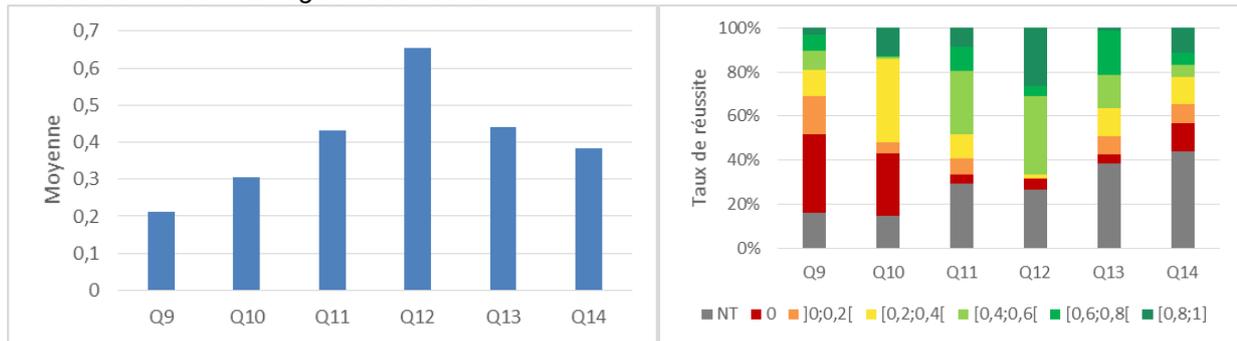
Cette partie avait pour objectif de vérifier le bon comportement statique du système de levage, et en particulier la maîtrise du positionnement vertical de la charge : la seule connaissance de la longueur de câble déroulé permet-elle de connaître la position verticale de la charge ?

##### II.1 Vérification du dimensionnement du crochet



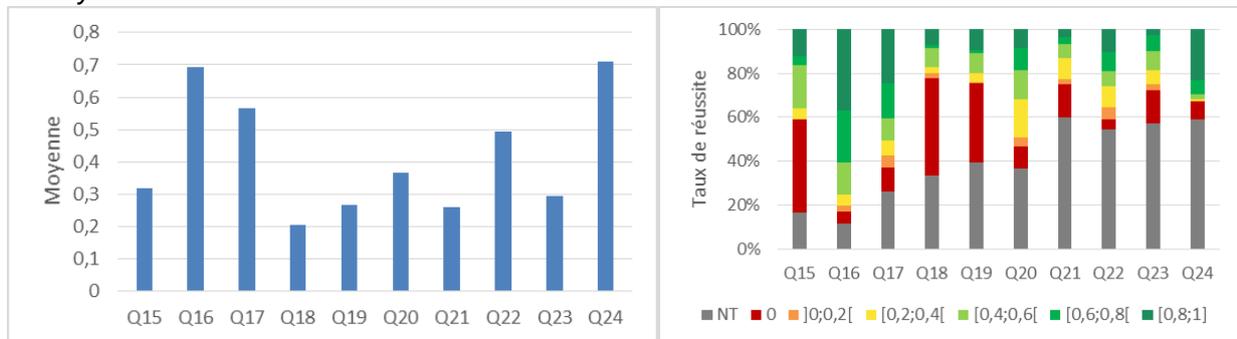
Cette partie portait sur l'étude du comportement sous charge du crochet. Elle a été très largement abordée, même si certaines questions ont été assez peu réussies. De nombreuses questions appelaient une réponse argumentée, ce qui a montré les limites de certains candidats dans le domaine.

## II.2 Modélisation du mouflage et des câbles



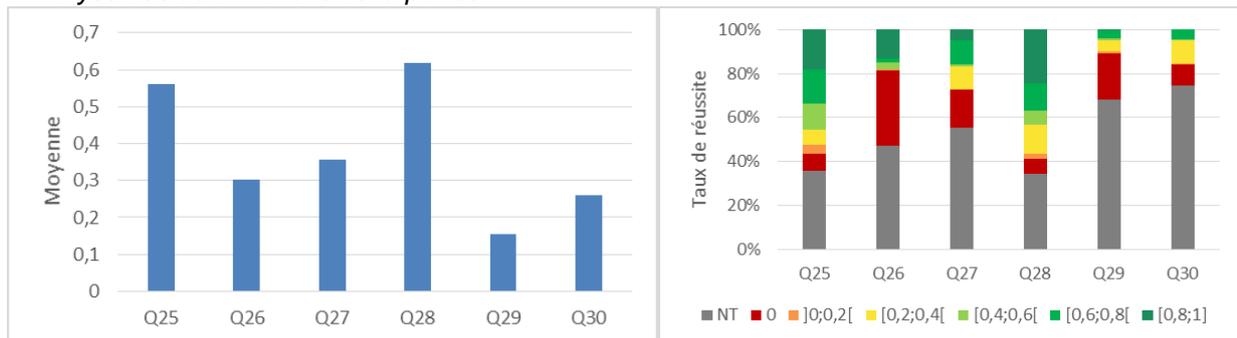
Cette partie portait sur l'étude du comportement sous charge du mouflage et des câbles. Il est regrettable que de nombreux candidats ne connaissent pas le comportement d'un système de poulie, ce qui traduit un manque de culture technologique. Le jury a également constaté de nombreux candidats, en voulant exploiter la symétrie pour simplifier le système, en font une utilisation erronée.

## II.3 Analyse des déformations du tambour



Cette partie portait sur l'étude du comportement sous charge du tambour. Si de nombreux candidats ont atteint les résultats attendus sur les questions portant sur les méthodes classiques de la résistance des matériaux, peu l'ont fait avec le niveau de rigueur attendu. Le jury regrette que certains candidats donnent des formules sans les contextualiser, sans même les adapter aux notations de l'énoncé. Cela a poussé certains d'entre eux à des erreurs. Il est également regrettable que peu de candidats sachent justifier le cas d'étude choisi, certains montrant même à l'occasion un manque de bon sens physique.

## II.4 Analyse des déformations de la portée

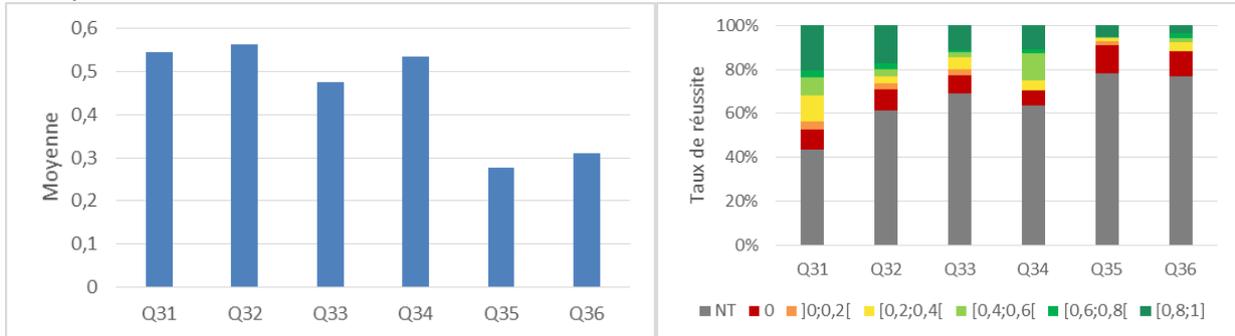


Cette partie portait sur l'étude du comportement sous charge de la portée. Elle a été moins souvent abordée que la précédente. Le jury a constaté un manque de rigueur même parmi les candidats ayant obtenu les résultats attendus. Plusieurs questions ont permis aux meilleurs candidats de se démarquer, en montrant une compréhension fine des outils utilisés et en choisissant les chemins de résolution les plus efficaces.

### III. Étude de la motorisation du levage

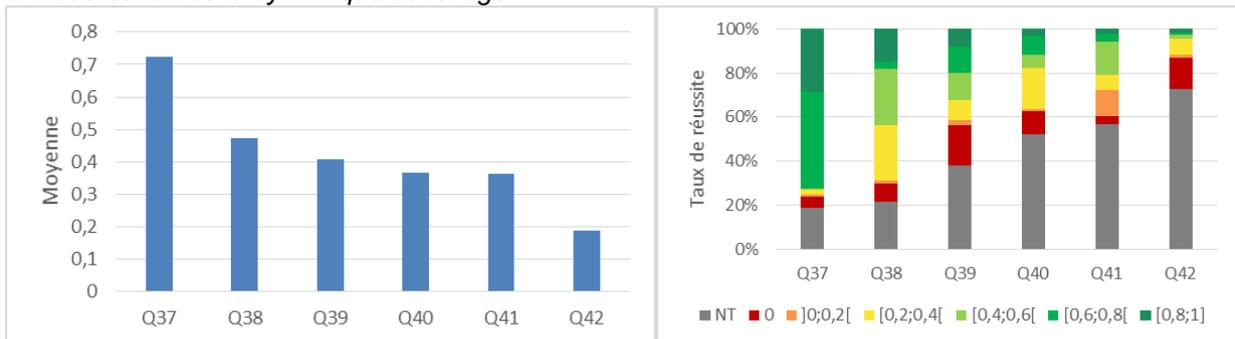
Cette partie avait pour objectif de vérifier le bon dimensionnement du moteur de levage ainsi que des dispositifs permettant le maintien de la charge en hauteur hors énergie.

#### III.1 Vérification de la tenue des câbles sur le tambour



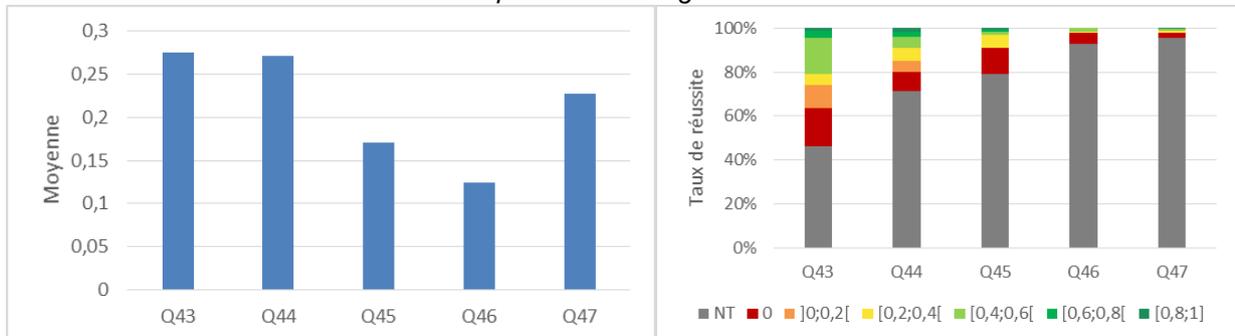
Cette partie visait à modéliser le comportement du câble au contact du tambour afin de vérifier s'il est possible d'atteindre la course de levage demandée sans danger. Cette partie moins classique, qui nécessitait la mise en œuvre de méthodologies de résolution moins standardisées, a été abordée par nettement moins de candidats que les précédentes. Certains candidats n'ont pas su interpréter l'enchaînement des questions et ont donc eu du mal à atteindre les conclusions attendues.

#### III.2 Modélisation de la dynamique du levage



Cette partie avait pour objectif d'évaluer les performances dynamiques du mouvement de levage. Modéliser le comportement dynamique de l'ensemble de levage doit permettre l'élaboration d'une loi de commande. De nombreux candidats ont abordé cette partie qu'ils pensaient mieux maîtriser mais peu d'entre eux l'ont traitée dans son intégralité. Les corrections ont montré que certains candidats ont eu du mal à s'adapter aux questions cadre posé : ils ont mis en œuvre la démarche attendue mais sans la justifier avec rigueur et écrivant leurs équations en réponse aux mauvaises questions.

#### III.3 Vérification du dimensionnement du dispositif de freinage

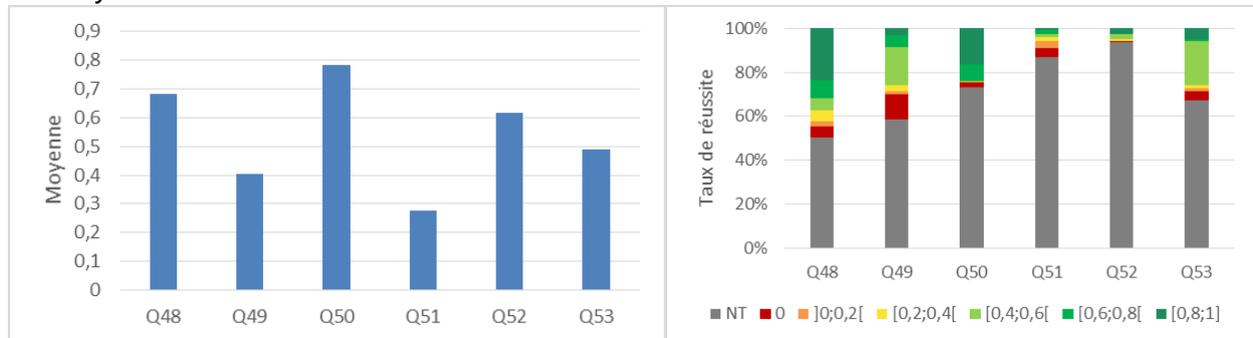


Cette partie visait à valider le dimensionnement du dispositif de freinage, qui doit assurer l'arrêt de la charge en cas de coupure de courant. Le jury a été particulièrement déçu par l'étude de statique graphique : seule la moitié des candidats l'a abordée et peu d'entre eux l'ont fait de façon satisfaisante. Le jury constate de plus que très peu de candidats savent justifier les tracés faits par un principe physique.

#### IV. Modélisation d la dynamique du pont roulant

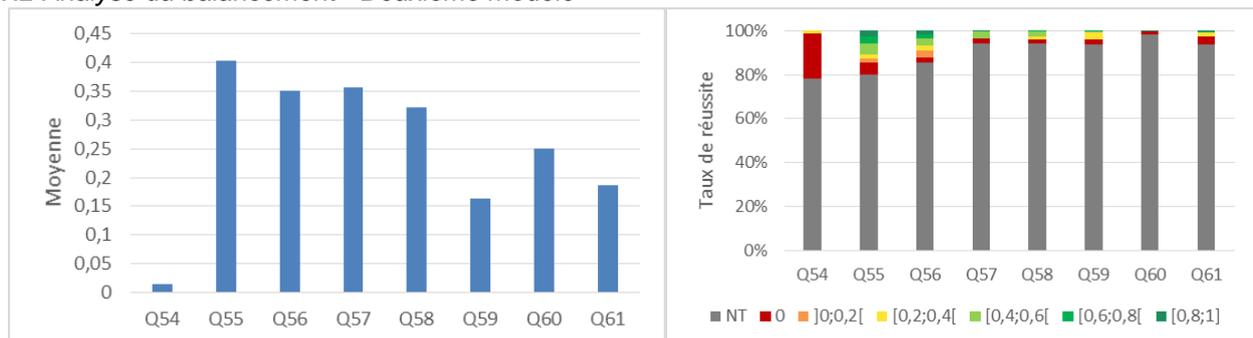
Cette partie avait pour objectif de vérifier si le balancement de la charge est acceptable et, dans un deuxième temps, d'établir un modèle pouvant servir à l'élaboration d'une loi de commande permettant de respecter les exigences.

##### IV.1 Analyse du balancement - Premier modèle



Le premier modèle proposé négligeait l'influence de la moufle sur le balancement de la charge. Si les premières questions ont été pas mal abordées, de nombreux candidats se sont arrêtés avant la fin de cette partie. Le manque de rigueur et de maîtrise du calcul vectoriel a malheureusement empêché certains candidats d'obtenir des résultats exploitables. Certains candidats ont su obtenir les équations vectorielles correctes mais n'ont pas su les utiliser pour obtenir une équation scalaire utile.

##### IV.2 Analyse du balancement - Deuxième modèle



Le premier modèle prenait en compte la présence de la moufle dans la modélisation du balancement. Très peu de candidats ont abordé cette partie qui utilisait les équations de Lagrange, mais elle a permis à ceux qui l'ont fait de se démarquer.

#### 4. Conclusion

Le jury apprécie les copies des candidats qui justifient ou expliquent les démarches adoptées pour répondre aux questions posées. Le jury attend que les candidats fassent preuve de rigueur et de précision dans les réponses aux questions d'analyse des modèles et dans la démarche de résolution des problèmes.

De façon complémentaire, la rigueur scientifique et la maîtrise des outils mathématiques usuels nécessaires aux sciences industrielles de l'ingénieur sont des prérequis indispensables.

Au-delà de la maîtrise de la mise en œuvre des outils, le jury apprécie que les candidats montrent leur compréhension de ces outils en sachant les adapter au problème posé, en étant capable de discuter de leurs intérêts et de leurs limites dans les questions d'analyse.

Le jury encourage les candidats à s'intéresser à toutes les parties du sujet et à montrer qu'ils maîtrisent l'ensemble des différentes méthodes de modélisation nécessaires à la résolution de problématiques de sciences industrielles de l'ingénieur. Ainsi, le jury apprécie les copies où les candidats tentent de répondre à la globalité du sujet. De nombreuses questions sont indépendantes et il est souvent possible de conclure malgré des résultats intermédiaires manquants.

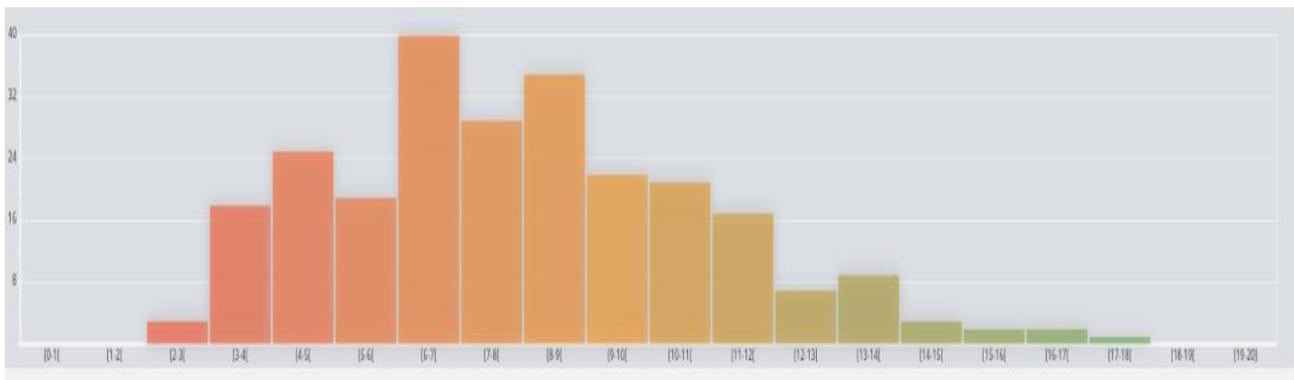
Enfin, le jury invite vivement les candidats à se préparer avec sérieux et rigueur, à lire attentivement les rapports de jury, à s'entraîner sur les épreuves des sessions passées et à s'inscrire dans les dispositifs de formation ou de préparation qui sont mis à leur disposition.

## 5. Résultats

253 copies ont été évaluées. Les notes se répartissent ainsi :

- moyenne : 08/20
- écart-type : 3/20
- note la plus basse : 02,53/20
- note la plus haute : 17,36/20

Histogramme des notes :



# Éléments de correction de l'épreuve de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation

## Présentation de l'épreuve

- Durée totale de l'épreuve : 6 heures
- Coefficient 1

L'épreuve est spécifique à l'option choisie.

À partir d'un dossier technique comportant les éléments nécessaires à l'étude, l'épreuve a pour objectif de vérifier les compétences d'un candidat à synthétiser ses connaissances pour proposer ou justifier des solutions de conception et d'industrialisation d'un système technique dans le domaine de la spécialité du concours dans l'option choisie.

## Sujet

Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère à l'adresse :

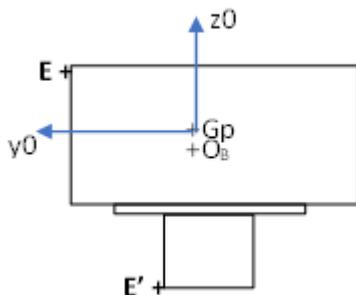
[https://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/agreg\\_externes/08/1/s2022\\_agreg\\_externes\\_sii\\_mecanique\\_3\\_14\\_25081.pdf](https://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/agreg_externes/08/1/s2022_agreg_externes_sii_mecanique_3_14_25081.pdf).

## Éléments de correction

### Q1- DR1 :

Étapes	Man	Num	Actions de l'opérateur ou opératrice	Actions automatiques	Id.
E1	X		Déplace une pièce du pont roulant sur le positionneur.		
E2	X		Déplace les axes du positionneur pour orienter le bain de fusion.		1.9.4
E3		X	Renseigne le type de soudure dans le pupitre de commande (circulaire ou radiale)	L'API enregistre le type de soudure	1.9 1.9.2
E4	X		Déplace les axes de la potence jusqu'à la position initiale souhaitée		1.9.3
E5	X		Déplace le palpeur jusqu'à la pièce		1.9.3
E6				Calcule la trajectoire de soudage à partir de la position initiale	1.9.2
E7				Déplace la torche pour fixer la Distance point de l'électrode / Pièce	1.9.3
E8		X	(Appuie sur Départ Cycle)	Si l'opérateur appuie sur Départ Cycle et que la soudure à réaliser est circulaire : déplace en rotation l'axe C jusqu'à ce que la pièce soit revenue en position initiale	1.9.2 1.9.3
E9		X	(Appuie sur Départ Cycle)	Si l'opérateur appuie sur Départ Cycle et que la soudure à réaliser est radiale : déplace l'axe Y jusqu'à atteindre la fin du profile avec la torche	1.9.2 1.9.3

### Q2-



Remarque :  $O_B E' < O_B E$

$$\overrightarrow{O_B E} \Big|_{R_B} = \overrightarrow{O_B G_C} + \overrightarrow{G_C E} = -L_{GC} \vec{x}_B + \frac{D_p}{2} \vec{y}_B + (-h_{GC} + h_p) \vec{z}_B$$

$$\overrightarrow{O_B E} \Big|_{R_0} = -L_{GC} \vec{x}_0 + \left[ \cos \alpha \frac{D_p}{2} - \sin \alpha (-h_{GC} + h_p) \right] \vec{y}_0 + \left[ \frac{D_p}{2} \sin \alpha + \cos \alpha (-h_{GC} + h_p) \right] \vec{z}_0$$

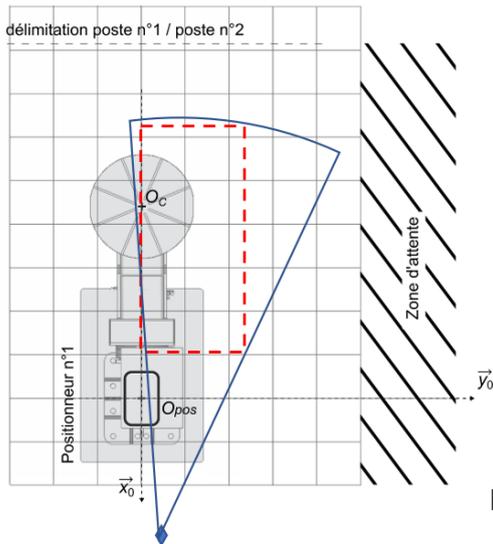
**Q3-**  $\overrightarrow{O_B E} \cdot \vec{y}_0 = \cos \alpha \frac{D_p}{2} - \sin \alpha (-h_{GC} + h_p) \cdot \left\| \overrightarrow{O_B E} \cdot \vec{y}_0 \right\|_{\max}$  pour  $\alpha_m$  tel que :

$$\frac{d(\overrightarrow{O_B E} \cdot \vec{y}_0)}{d\alpha} \Big|_{\alpha=\alpha_m} = 0.$$

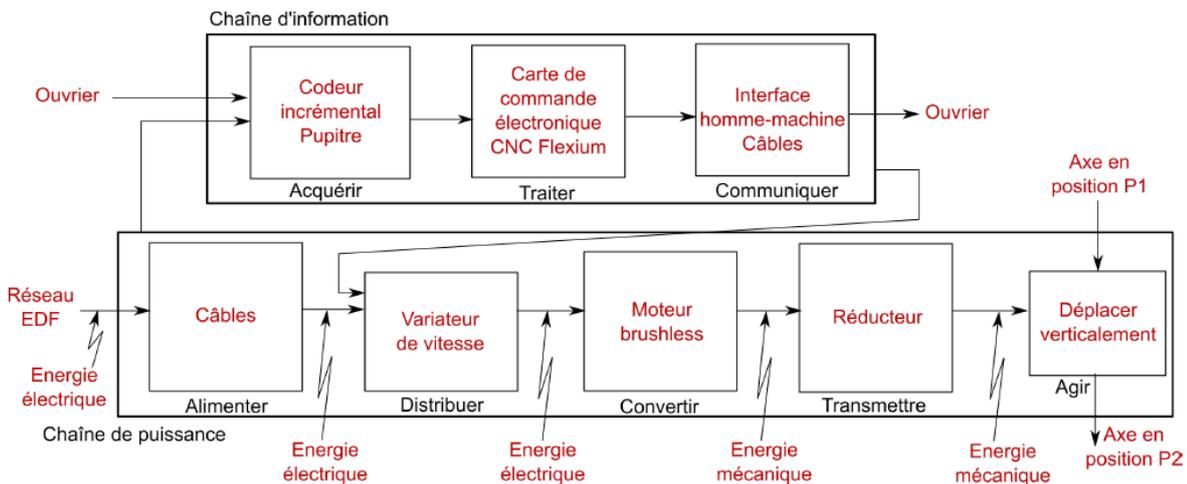
$$\rightarrow (h_{GC} - h_p) \cos \alpha_m - \frac{D_p}{2} \sin \alpha_m = 0 \rightarrow \alpha_m = \arctan \frac{2(h_{GC} - h_p)}{D_p} \rightarrow \left\| \overrightarrow{O_B E} \cdot \vec{y}_0 \right\|_{\max} \simeq 1188 \text{ mm.}$$

Dimensions du rectangle à sécuriser : 1188 mm suivant  $y_0$ , et longueur balancier + pièce =  $LB_2 + D_p/2 = 2715 \text{ mm}$  suivant  $x_0$ .

### Q4- DR2 :

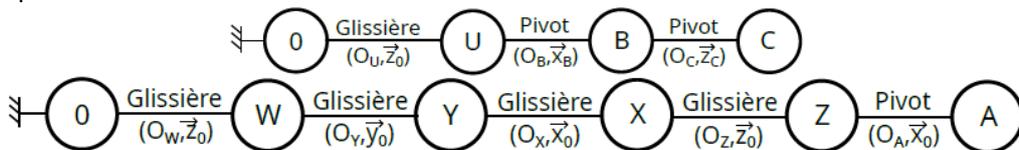


**Q5- DR3 :**



**Q6-**

Graphes des liaisons



**Q7-** Degrés de liberté de l'effecteur du positionneur : translation selon  $\vec{z}_0$ , rotation autour de  $\vec{x}_0$ , rotation autour de  $\vec{z}_C = \vec{z}_B = \cos \alpha \vec{z}_0 - \sin \alpha \vec{y}_0$ .

Degrés de liberté de l'effecteur de la potence : translations selon les trois axes  $\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0$ , rotation autour de  $\vec{x}_0$ .

Pour satisfaire l'id 1.9.3 il est nécessaire d'avoir les trois translations pour approcher la pointe de la torche de la pièce et obtenir la distance souhaitée. Pour l'orientation relative de la torche par rapport à la pièce, les rotations autour de  $\vec{x}_0$  et  $\vec{z}_C$  (combinaison de  $\vec{z}_0$  et  $\vec{y}_0$ ) sont utilisées. Donc l'exigence id 1.9.3 peut être validée avec ces degrés de liberté.

**Q8-** L'exigence id.1.4 (Précision) demande un écart de  $\pm 5\%$  maximum sur toutes les dimensions. La consigne est de 20mm donc la valeur réelle sera précise si elle est comprise entre  $20 - 5\% \times 20 = 19\text{mm}$  et  $20 + 5\% \times 20 = 21\text{mm}$ .

La translation de l'axe Z est redondante avec la translation de l'axe W. Elle peut donc permettre d'affiner la position de la torche par rapport à la pièce. Cet axe présente une précision de  $\pm 0,05\text{mm}$ . Donc la précision de  $\pm 1\text{mm}$  sur h pourra être vérifiée. L'exigence id 1.4 semble pouvoir être validée, si l'axe Z est asservi pour cela.

**Q9-** Éléments pouvant altérer la précision de cette cote : Jeux mécaniques, déformation des pièces. Si les deltas de position s'accumulent sur toute la chaîne, et qu'on ne règle pas en conséquence l'axe Z, alors les 1mm tolérés peuvent être dépassés.

Les masses des solides et de la pièce à souder sont importantes donc on peut supposer qu'il y aura du fléchissement. S'il n'est pas rattrapé par l'axe Z cela invalidera l'exigence id 1.9.4.

**Q10-**  $u$ =indifférent,  $\alpha = 90^\circ$  ou  $-90^\circ$ ,  $\beta$ =indifférent.

**Q11-** Système isolé : positionneur+pièce. Bilan des actions mécaniques extérieures :

$$\text{Poids balancier B : } \vec{P}_B|_{G_B} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -m_B g \end{pmatrix}; \quad \text{Poids pièces : } \vec{P}_{\text{pièce}}|_{G_p} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -m_p g \end{pmatrix}$$

$$\text{Poids plateau : C } \vec{P}_C|_{G_C} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -m_C g \end{pmatrix}; \quad \text{Poids glissière : U } \vec{P}_U|_{G_U} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -m_U g \end{pmatrix}$$

Poids colonne et contre poids :

$$\vec{P}_{\text{col}}|_{O_{\text{pos}}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -(m_{\text{col}} + m_{\text{cp}})g \end{pmatrix}$$

Liaison encastrement sol sur le système en

$$O_{\text{pos}} : \{T_{\text{encas}}\}_{O_{\text{pos}}} = \begin{pmatrix} X & L \\ Y & M \\ Z & N \end{pmatrix}_{O_{\text{pos}}}$$

$$\vec{M}_{O_{\text{pos}}}(\vec{P}_B) = \vec{O}_{\text{pos}} G_B \wedge \vec{P}_B = (\vec{O}_{\text{pos}} O_U + \vec{O}_U O_B + \vec{O}_B G_B) \wedge \vec{P}_B = \begin{vmatrix} -L_B - L_{GB} & 0 \\ 0 & 0 \\ u - h_{GB} & -m_B g \end{vmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = -(L_B + L_{GB}) m_B g$$

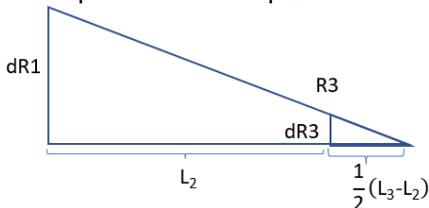
$$\vec{M}_{O_{\text{pos}}}(\vec{P}_{\text{pièce}}) = -L_C m_p g \vec{y}_0; \quad \vec{M}_{O_{\text{pos}}}(\vec{P}_C) = -L_C m_C g \vec{y}_0; \quad \vec{M}_{O_{\text{pos}}}(\vec{P}_U) = -L_{GU} m_U g \vec{y}_0$$

PFS appliqué à l'ensemble du système en  $O_{\text{pos}}$ :  $X=Y=0$ ;  $Z=(m_B+m_C+m_U+m_{\text{col}}+m_{\text{cp}}+m_p)g$ ;  $L=N=0$ ;  $M=L_C m_C g + L_C m_p g + L_U m_U g + (L_B + L_{GB}) m_B g$ .  
A.N.  $Z=94176$  N,  $M=92675$  Nm.

**Q12-** Sous-dimensionnement : risque de rupture, de basculement, de chute. Surdimensionnement : risque de mauvais serrage ou de dévissage (déformation élastique de la vis insuffisante pour maintenir une pression de contact entre les filets).

**Q13-** Hypothèses : limite du basculement au bord avec décollement, contact linéique, poteau infiniment rigide. Boulons sollicités en traction. Problème symétrique  $R_1=R_2$ ,  $R_3=R_4$  → problème plan. Goujons de raideur équivalente → effort proportionnel aux déformations des goujons.

$$R_1 = k_{eq} \cdot d R_1 \quad R_3 = k_{eq} \cdot d R_3$$



$$\frac{R_3}{R_1} = \frac{dR_3}{dR_1} = \frac{\left(\frac{1}{2}(L_3 - L_2)\right)}{\frac{1}{2}(L_3 - L_2) + L_2} = \frac{L_3 - L_2}{L_3 + L_2}$$

Torseur de la liaison encastrement du sol sur le positionneur = Réaction du sol en  $O_{\text{bord}}$  verticale, vers le haut. Donc  $R_{\text{sol}} = Z$  et action des boulons.

$$\vec{M}_{O_{\text{bord}}}(\vec{R}_{\text{encastrement}}) = \vec{M}_{O_{\text{pos}}} + \vec{O}_{\text{bord}} O_{\text{pos}} \wedge \vec{R}_{\text{encastrement}} = \begin{vmatrix} 0 & L_3 \\ 0 & 0 \\ 0 & Z \end{vmatrix} \wedge \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ -\frac{L_3}{2} Z + M \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$-\frac{L_3}{2} Z + M = 2R_1 \left(\frac{L_3 - L_2}{2} + L_2\right) + 2R_3 \frac{L_3 - L_2}{2} = R_1(L_3 + L_2) + R_3(L_3 - L_2) = R_1(L_3 + L_2) + \frac{R_1(L_3 - L_2)^2}{(L_3 + L_2)} = \frac{2R_1(L_3^2 + L_2^2)}{L_3 + L_2}$$

$$\text{D'où } R_1 = \frac{-\frac{L_3}{2} Z + M}{\frac{2(L_3^2 + L_2^2)}{L_3 + L_2}} = \frac{1,06 \cdot 94176 + 92675}{\frac{2(1,06^2 + 0,87^2)}{1,06 + 0,87}} = 21943,7 \text{ N. Et } R_3 = \frac{R_1(L_3 - L_2)}{\frac{L_3 - L_2}{2} + L_2} = \frac{R_1(L_3 - L_2)}{L_3 + L_2} = 2160,3 \text{ N.}$$

**Q14-** Effort de serrage à  $R_1$  et  $R_2$ . Donc le boulon subit à la fois le serrage, l'effort, et en prenant un coefficient de sécurité de 2 :  $2 \times 2 \times R_1$ .

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{F}{\frac{\pi d^2}{4}} < R_e \quad \text{d'où } d = \sqrt{\frac{4 \times 4 R_1}{R_e \pi}} = \sqrt{\frac{16 \times 23277,7}{400 \times 3,14}} = 17,21 \text{ mm.}$$

Or diamètre noyau=diamètre nominal-1,2268xp. D'où diamètre nominal choisi d=24mm.

**Q15-**  $V_U = 60 \frac{\omega d_p}{2} = \pi N_r d_p$  d'où  $d_p = \frac{V_U}{\pi N_r} = \frac{V_U}{\pi N_m r} = \frac{2500}{\pi 3000 \frac{1}{600}} = 159,1$  mm.

$d_p = mZ$  ;  $m = \frac{p}{\pi}$  d'où  $Z = \frac{\pi d_p}{p} = \pi \times \frac{159,1}{25,4} = 19,7 \rightarrow Z = 20$  dents. D'où  $d_p = \frac{p}{\pi} Z = 161,7$  mm.

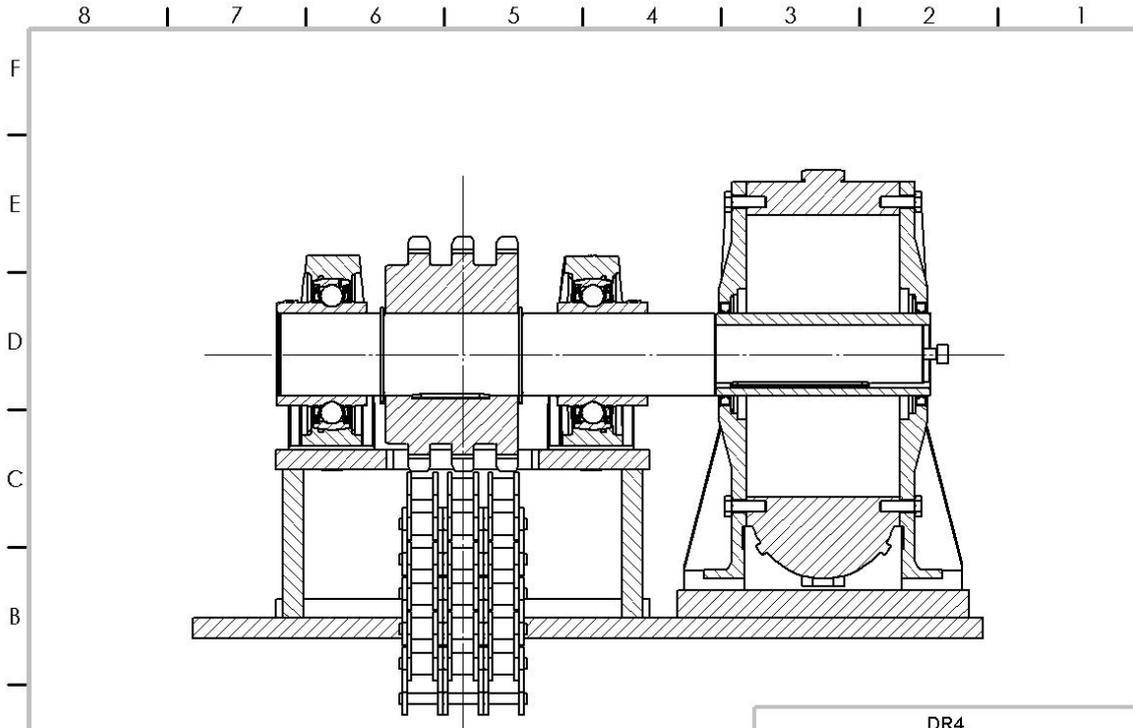
**Q16-** Matage des plaques, résistance en traction des plaques (au niveau des axes, au milieu), cisaillement des axes.

Charge = g x (mU + mB + mpiece + mC) = 9,81 x (500 + 1500 + 700 + 2500) = 51kN.

Coefficient de sécurité de 3 donc pour un pas de 25,4 mm, choix de la chaîne triple .

**Q17-** Solution technique « guider en rotation » : réalisation de la pivot (roulement +montage, palier).

Solution technique « entrainer en rotation » : clavette + rainure de clavette, cannelure.



**Q18-**

**Q19-** PFS appliqué au système {taquet} en  $P_O$  :  $\sum M_{P_O}(\vec{F}_{ext}) = \vec{0} = \vec{P}_O P_A \wedge \vec{T} + \vec{P}_O P_G \wedge \vec{P}_2 + \vec{P}_O P_C \wedge \vec{F}_C$

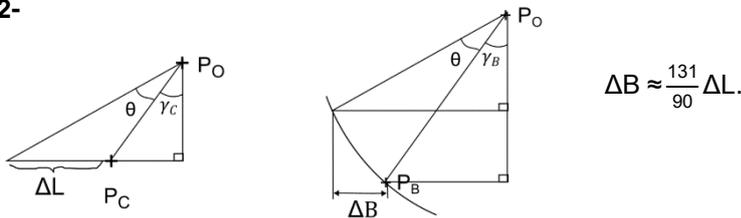
D'où :  $-F_C * 90 + P_2 * 31,8 + T * 9 = 0 \rightarrow F_C = \frac{P_2 * 31,8 + T * 9}{90} = 5150$  N.

**Q20-**  $F_{ressort} = F_5 \rightarrow 3 = k * (L - L_0) = 200 * 20 = 4000$  N.  $F_{appui} = F_4 \rightarrow 3 = F_C - F_{ressort} = 5150 - 4000 = 1150$  N.

Direction selon x positif : 4 applique un effort sur 3.

**Q21-**  $T = 0 \rightarrow$  plus d'équilibre, perte du contact en C :  $F_4 \rightarrow 3 = 0 \rightarrow$  rotation du taquet.

**Q22-**



**Q23-**  $J_O = J_G + m r^2$  avec  $r = P_O P_G$ .

**Q24-** On néglige la variation de position de  $P_G$ . Théorème du moment dynamique appliqué au taquet en O :

$\sum M_O(\vec{F}_{ext}) = J_O \alpha \vec{y}_0 = J_O \ddot{\theta} \vec{y}_0 \rightarrow (\vec{O C} \wedge \vec{F} + \vec{O G} \wedge \vec{P}_2) \cdot \vec{k} = (J_G + m_2 O G^2) \ddot{\theta}$ .

Si on néglige la variation de l'angle du taquet sur xG ( $y_G$  reste constant) :

$-y_C * F_{ressort} + x_G P_2 = (J_G + m_2 O G^2) \ddot{\theta} \rightarrow \ddot{\theta} = \frac{-y_C * F_{ressort} + x_G P_2}{J_G + m_2 O G^2} = -3751$  rad/s<sup>2</sup>.



$$\overrightarrow{\delta_{O_B, C+P/R_0}} = \frac{d\overrightarrow{\sigma_{O_B, C+P/R_0}}}{dt} \Big|_{R_0} = \frac{d(l_{O_B(C+P)} \cdot \overrightarrow{\Omega_{C+P/R_0}})}{dt} \Big|_{R_0}$$

Avec (Huygens) :  $l_{O_B(C+P)} = l_{G_C(C+P)} + (m_C + m_p) \begin{pmatrix} h_{G_C}^2 & 0 & -L_{G_C} h_{G_C} \\ 0 & L_{G_C}^2 + h_{G_C}^2 & 0 \\ -L_{G_C} h_{G_C} & 0 & L_{G_C}^2 \end{pmatrix}_{B_C}$ .

$$\Rightarrow \overrightarrow{\delta_{O_B, C+P/R_0}} \cdot \overrightarrow{x_0} = (A_C + (m_C + m_p) h_{G_C}^2) \ddot{\alpha}$$

D'où :  $C_B - (h_{G_B} m_B + h_{G_C} m_C + (h_C - \frac{1}{2} h_p) m_p) g \sin \alpha = A_B \ddot{\alpha} + m_B h_{G_B}^2 \ddot{\alpha} + A_C \ddot{\alpha} + (m_C + m_p) h_{G_C}^2 \ddot{\alpha}$ .

**Q33-**  $C_B = (h_{G_B} m_B + h_{G_C} m_C + (h_C - \frac{1}{2} h_p) m_p) g \sin \alpha + A_B \ddot{\alpha} + m_B h_{G_B}^2 \ddot{\alpha} + A_C \ddot{\alpha} + (m_C + m_p) h_{G_C}^2 \ddot{\alpha}$ .

**Q34-**  $C_{Ba} \approx (A_B + A_C + m_B h_{G_B}^2 + (m_C + m_p) h_{G_C}^2) \ddot{\alpha} \approx 177016 \text{ Nm}$ . Et  $C_{mBa} = \frac{C_{Ba}}{2000} = \frac{177016}{2000} \approx 88 \text{ Nm}$ .

Ce couple est inférieur au couple au démarrage donné par le constructeur : 90,2 Nm. Le moteur est donc bien dimensionné en dynamique.

**Q35-** Le moteur proposé par le constructeur est correctement dimensionné en statique et en dynamique, pour l'utilisation qui en est faite par l'entreprise.

**Q36-**  $F_{ax} = 0$ .

$$M_k = \overrightarrow{O_B G_C} \cdot \overrightarrow{x_0} \times (P_C + P_P) + \overrightarrow{O_B G_B} \cdot \overrightarrow{x_0} \times P_B = (L_{G_C} - L_B)(P_C + P_P) + L_{G_B} P_B = 55,7 \text{ kNm}$$

**Q37-** Par lecture du graphique 1 de l'annexe 9 : WD-L 0343 à une rangée de bille

**Q38-** Déplacement max au niveau du diamètre interne  $d = 0,15 \text{ mm}$ .

Estimation de l'angle :  $\arctan(0,15/(D/2)) = \arctan(0,15/190) = 0,045^\circ$ .

D'où le déplacement vertical à une distance  $O_B G_P$  ( $L_{G_C} - L_B = 1450 \text{ mm}$ ) :  $\Delta z = (0,15/190) * 1450 = 1,14 \text{ mm}$  au centre de la pièce.

**Q39-** On trouve un débattement au bout de l'axe de 1,14 mm à l'extrémité de la pièce. L'exigence id 1.4 demande une précision de  $\pm 5\%$ , c'est-à-dire de  $\pm 1 \text{ mm}$  ici (consigne de 20 mm) donc cette exigence n'est pas respectée.

**Q40-**  $m = S * L_p * \rho = (0,5 * 0,280 - 0,49 * 0,27) * 3,9 * 7800 = 234 \text{ kg}$  : cette masse n'est pas négligeable devant le poids des équipements.

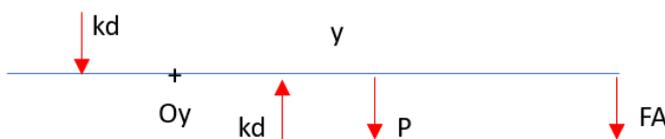
**Q41-** Flèche en bout de poutre encastrée libre avec une charge répartie :  $f = p * L^4 / (8EI)$ .

Flèche en bout de poutre encastrée avec charge ponctuelle en bout :  $f = PL^3 / (3EI)$ .

$$D'où : f(y) = \frac{py^4}{8EI} + \frac{F_A * y^3}{3EI} = \frac{3py^4 + 8F_A y^3}{24EI}$$

Modélisation : en réalité ce n'est pas un encastrement, la dérivée en  $O_y$  n'est pas nulle.

**Q42-**



Système isolé : poutre.

Somme des moments en  $O_y$  :

$$2 * k * d * \frac{b_Y}{2} = F_A * y + P * \left( \frac{L_p Y}{2} - (L_p Y - y) \right) = F_A * y + P \left( y - \frac{L_p Y}{2} \right) \rightarrow d = \frac{\left( F_A y + m g * \left( y - \frac{L_p Y}{2} \right) \right)}{k b_Y}$$

$$\text{Or } d/f = (b_Y/2)/y \rightarrow f'' = 2d * \frac{y}{b_Y} = \frac{2 * y * \left( F_A y + m g * \left( y - \frac{L_p Y}{2} \right) \right)}{k b_Y^2}$$

**Q43-** Flèche maximale : poutre complètement sortie sans sortir des paliers  $\rightarrow y = L_y - b_Y/2 = 3,475 \text{ m}$ .

**Q44-** Calcul de  $f'$  :

charge répartie  $p = m * g / L = 234 * 9,81 / 3,9 = 589,2 \text{ N/m}$ .

$$\text{Calcul de } l_{Gx} : l_{Gx} = \frac{bh^3}{12} - \frac{(b-2e)(h-2e)^3}{12} = 0,28 * \frac{0,5^3}{12} - 0,27 * \frac{0,49^3}{12} = 0,00027 \text{ m}^4 \rightarrow f' = 0,000432 \text{ m} = 0,4 \text{ mm}$$

Calcul de  $f''$  :

$$f'' = 2d * \frac{y}{b_Y} = \frac{2 * y * \left( F_A y + m g * \left( y - \frac{L_p Y}{2} \right) \right)}{k b_Y^2} = \frac{2 * 3,475 * \left( 100 * 9,81 * 3,475 + 234 * 9,81 * \left( 3,465 - \frac{3,9}{2} \right) \right)}{800 * 1e6 * 0,85^2} = 0,118 \text{ mm}$$

Théorème de superposition :  $f=f'+f''=0,4 \text{ mm}+0,118 \text{ mm}=0,518 \text{ mm}$ .

On reste dans les tolérances ( $< 5\%$  de  $20 \text{ mm}=1\text{mm}$ ).

**Q45-**  $\varepsilon(p) = U_e(p) - U_s(p) = K_a z_e(p) - K_d z_s(p)$ .

Si  $\varepsilon(p) = 0 : K_a z_e(p) = K_d z_s(p)$ . Or  $\varepsilon(p) = 0$  implique aussi  $z_e(p) = z_s(p)$ . Donc  $K_a=K_d$ .

**Q46-**  $K_d = \frac{U_s(p)}{z_s(p)} = \frac{U_s(t)}{z_s(t)} = \frac{10,8}{2 \cdot 10^{-2}} = 540 \text{ V.m}^{-1}$ .

**Q47-**  $H(p) = \frac{z_s(p)}{z_e(p)} = K_a \frac{C(p)G(p)K_{ct}}{1+C(p)G(p)K_{ct}K_d}$  avec  $C(p)=1$  et  $G(p) = \frac{AM(p)\frac{1}{p}}{1+AM(p)\frac{1}{p}K_c} = \frac{A_c \frac{K_m}{1+T_m p}}{1+\frac{AK_m}{1+T_m p}K_c} = \frac{AK_m}{p(1+T_m p)+AK_m K_c}$ .

Donc  $H(p) = K_a \frac{\frac{AK_m}{p(1+T_m p)+AK_m K_c} K_{ct}}{1+\frac{AK_m}{p(1+T_m p)+AK_m K_c} K_{ct} K_d} = \frac{K_a AK_m K_{ct}}{p(1+T_m p)+AK_m K_c+AK_m K_{ct} K_d}$ .

**Q48-**  $\varepsilon_s = \lim_{t \rightarrow +\infty} \varepsilon(t) = \lim_{t \rightarrow +\infty} (z_e(t) - z_s(t)) = \lim_{p \rightarrow 0} p (z_e(p) - z_s(p)) = \lim_{p \rightarrow 0} p z_e(p) \left(1 - \frac{z_s(p)}{z_e(p)}\right)$   
 $= \lim_{p \rightarrow 0} p \frac{h}{p} (1 - H(p)) = \lim_{p \rightarrow 0} h \left(1 - \frac{K_d AK_m K_{ct}}{p(1+T_m p)+AK_m K_c+AK_m K_{ct} K_d}\right) = h \left(1 - \frac{K_d AK_m K_{ct}}{AK_m K_c+AK_m K_{ct} K_d}\right) = h \frac{K_c}{K_c+K_{ct} K_d} \approx 18,26 \text{ mm}$ .

L'exigence id 1.4 demande une précision de  $\pm 5\%$  donc pour  $h = 20 \text{ mm}$  cela correspond à  $\pm 1 \text{ mm}$ . Or on vient de trouver  $\varepsilon_s \approx 18,26 \text{ mm} > 1 \text{ mm}$  donc cette exigence n'est pas respectée.

**Q49-** On peut proposer un correcteur proportionnel  $K$ , réglé pour que l'écart statique soit au maximum de  $\pm 5\%$  pour une entrée échelon quelconque.

$\varepsilon_s = \frac{h}{1 + \frac{K K_{ct} K_d}{K_c}} \leq 5\% h = 0,05 h \rightarrow 1 + \frac{K K_{ct} K_d}{K_c} \geq \frac{1}{0,05} \Rightarrow K \geq \frac{K_c}{K_{ct} K_d} \left(\frac{1}{0,05} - 1\right) = \frac{0,3}{\frac{1}{3000 \times 2\pi} \times 540} \left(\frac{1}{0,05} - 1\right) = 199$ .

On peut aussi proposer un correcteur proportionnel intégral  $\frac{K}{p}$  (ou intégral  $\frac{1}{p}$ ) qui permette d'annuler l'écart statique par son action intégrale.

**Q50-** Avec un correcteur à action intégrale, le schéma-bloc présente un intégrateur dans la boucle ouverte, en amont de la perturbation, donc l'écart statique est nul et l'exigence id 1.4 est respectée. Avec un correcteur proportionnel  $K \geq 199$ , l'écart statique dû à l'entrée  $z_e(p)$  sera inférieur ou égal à  $1 \text{ mm}$ , mais la perturbation  $z_p(p)$  peut augmenter cet écart statique dont l'exigence id 1.4 n'est pas forcément respectée.

**Q51-** L'épaisseur de la soudure est plus importante que celle du reste de la pièce, donc le rayonnement électromagnétique traverse plus de matière et donc le support sera moins insolé et sera plus clair.

**Q52-** Porosité dans la soudure : moins de matière traversée, support plus insolé et donc cliché plus foncé. Inclusion de tungstène : le tungstène étant nettement plus dense, le rayonnement électromagnétique est alors absorbé davantage, et l'inclusion paraîtra plus claire sur le cliché.

Caniveau : moins de matière traversée, support plus insolé et donc cliché plus foncé -> donc on peut observer un caniveau sur une radio.

**Q53-** Figure 20a – copeau → copeau d'une opération d'usinage précédente.

Figure 20b – porosité ou soufflure → arc trop long ou énergie de soudage insuffisante.

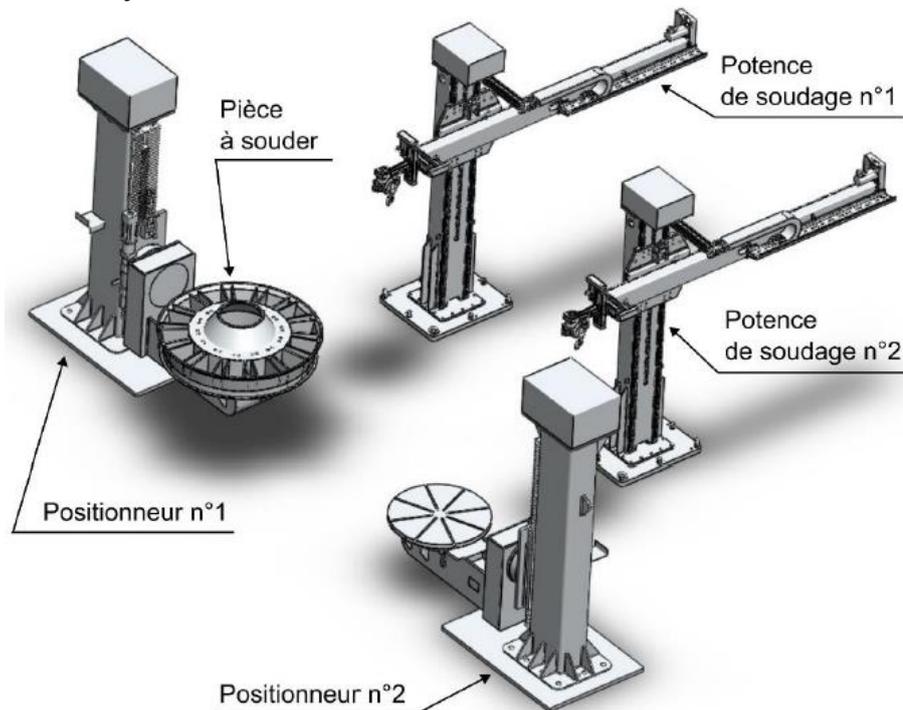
**Q54-**

- Orientation du bain de fusion : le système possède assez de degré de liberté.
- Position de la torche, asservissement correct.
- Pas de prise en compte de l'orientation de la torche → asservissement de l'orientation.

# Rapport du jury de l'épreuve de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation

Cette épreuve est d'une durée de 6 heures, coefficient 1. Elle a pour objectif de vérifier les compétences d'un candidat à synthétiser ses connaissances pour proposer ou justifier des solutions de conception et d'industrialisation d'un système pluritechnologique dans le cadre de l'option sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie mécanique.

## 1. Présentation du sujet



Le support du sujet est une cellule semi-automatisée de soudage TIG et plasma (torche interchangeable) capable de souder des pièces aéronautiques en alliage de titane ou en inconel. L'objectif général de l'étude est de valider que ce système permet d'obtenir des soudures de qualité, c'est-à-dire qu'il respecte des paramètres de soudage définis dans le sujet. Ce sujet est construit en quatre parties :

- partie I : appropriation du processus de soudage et études sur l'encombrement et les mobilités du système ;
- partie II : étude du positionneur, de sa conception au dimensionnement de ses sous-systèmes ;
- partie III : étude des solutions technologiques présentes sur la potence visant à vérifier sa capacité à respecter les conditions de soudage ;
- partie IV : validation du processus et du procédé de soudage à partir de l'étude de pièces obtenues et synthèse sur le sujet.

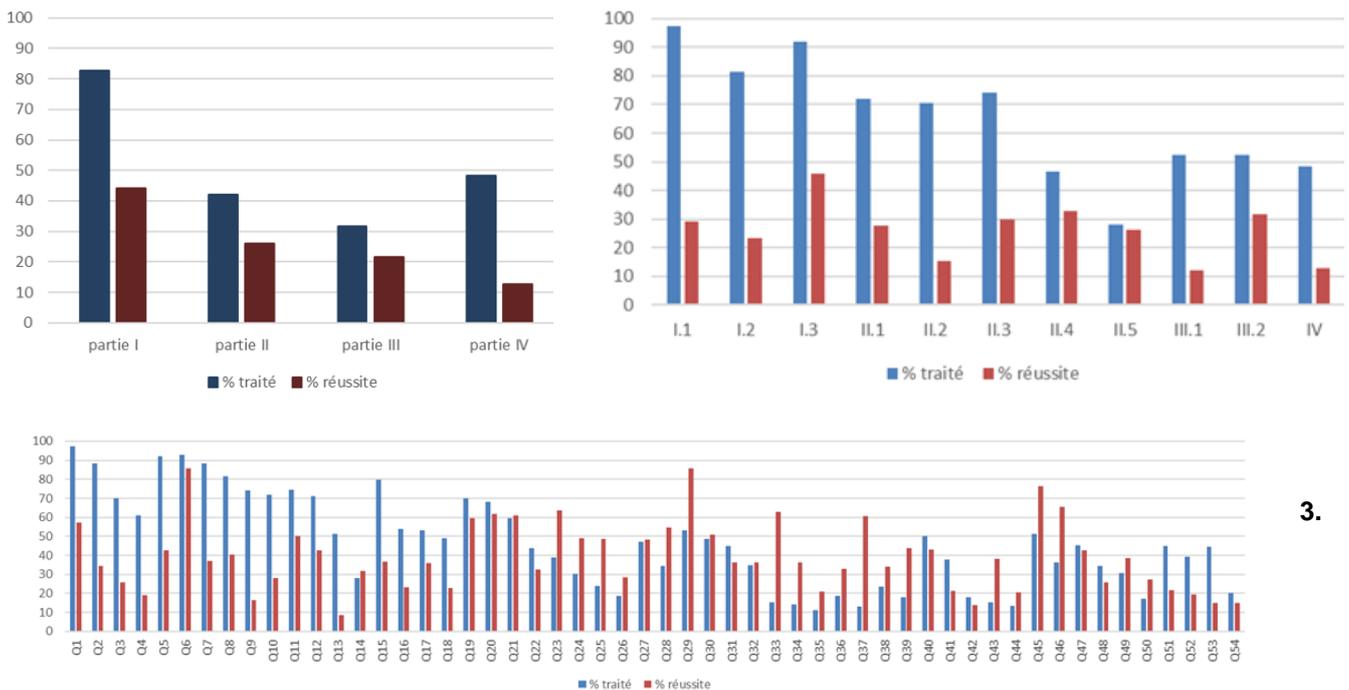
## 2. Analyse globale des résultats

Un petit nombre de candidats bien préparés traitent correctement la quasi-totalité du sujet. Un certain nombre de candidats ne maîtrisent pas les compétences et connaissances élémentaires attendues dans ce concours de recrutement.

La partie I, composée des questions 1 à 9, permet de s'approprier le processus de soudage et d'étudier les mouvements et l'environnement du système en vue de valider (ou non) des exigences.

La partie II, composée des questions 10 à 39, porte sur le dimensionnement partiel de plusieurs éléments du positionneur (liaison encastrement avec le sol, systèmes d'entraînement et de freinage). La partie III, composée des questions 40 à 50, se concentre sur la potence. Les candidats y étudient la déformation de l'axe sur lequel est fixé la torche de soudage par plusieurs études de résistance des matériaux, puis l'asservissement en position de cet axe.

La partie IV, composée des questions 51 à 54, propose d'analyser des soudures et leurs défauts puis de synthétiser ce qui a été validé dans ce sujet et de proposer des améliorations. Les graphiques ci-dessous présentent les pourcentages de traitement et de réussite aux différentes questions, moyennés par parties, par sous-parties et par question.



3.

### Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux candidats.

**Partie I :** la majorité des candidats a correctement exploité les nombreuses annexes pour s'approprier le processus de soudage et la cinématique du système. La notion de degré de liberté semble méconnue d'un grand nombre de candidats. De façon générale, le lien entre les résultats obtenus et les exigences correspondantes n'est pas expliqué.

**Partie II :** les questions de modélisation ont été bien moins traitées (et moins réussies) que les autres questions de cette partie. Il est nécessaire d'expliquer ses choix de modélisation, les hypothèses, et les points clés de la démarche. Les choix de conception sont très peu détaillés par les candidats (Q17, Q18). Les questions de résolution, quand la modélisation était fournie, ont été correctement détaillées. Le sujet comportait une erreur d'unité en Q20, le jury n'en a pas tenu rigueur aux candidats.

**Partie III :** les questions (III.1) portant sur la théorie des poutres sont très peu abordées par les candidats. Les questions sur l'asservissement (III.2) le sont peu également. Pourtant quand elles le sont, le taux de réussite est important. On ne peut qu'encourager les candidats à se former davantage sur ces domaines.

**Partie IV :** les documents ressources pour cette dernière partie ont été insuffisamment exploités. Le jury encourage les candidats à traiter le sujet dans sa globalité pour pouvoir formuler une synthèse qui apporte des conclusions et une ouverture sur la problématique traitée.

### 4. Conseils aux futurs candidats

Le jury encourage fortement les candidats à s'intéresser à toutes les parties du sujet et à montrer qu'ils maîtrisent l'ensemble des domaines de la spécialité Ingénierie Mécanique. Certains candidats ont choisi de ne traiter que les parties scientifiques, d'autres uniquement les questions technologiques. La note finale s'en trouve alors fortement altérée.

Le jury constate parfois un manque de rigueur, notamment dans la mise en œuvre de fondamentaux de la mécanique (principe fondamental de la statique, de la dynamique, dérivation vectorielle...). Il en est de même des expressions littérales, et des résultats numériques qui sont parfois donnés sans unité. La présentation des copies et leur rédaction doivent être irréprochables, aussi bien en termes de vocabulaire employé que d'orthographe et conjugaison. Les notations imposées dans le sujet doivent être scrupuleusement respectées, les résultats doivent être clairement mis en évidence. Les croquis doivent être accompagnés d'une explication ou d'une légende. Les argumentations relatives aux choix technologiques doivent s'appuyer sur des performances chiffrées, en accord avec le cahier des charges du système étudié. Le jury a constaté avec satisfaction que certaines copies revêtent un caractère exemplaire avec des argumentations claires et concises.

Réussir cette épreuve demande :

- une lecture attentive du sujet dans son ensemble et un esprit de synthèse ;
- une bonne maîtrise des outils de modélisation de l'ingénierie système ;
- une bonne maîtrise des modèles de connaissance de tous les domaines de l'ingénierie mécanique ;
- une culture technologique riche et une connaissance des normes en vigueur.

## **5. Conclusion**

Le sujet avait pour objectif de permettre aux candidats d'exprimer au mieux leurs compétences dans différents aspects de l'étude d'un système pluritechnologique. Le choix de ce système présentant un panel de solutions technologiques a permis aux candidats de composer sur des problématiques industrielles authentiques et diverses. Le jury rappelle qu'un produit industriel fait appel à des connaissances transversales et que les candidats ne peuvent se limiter à des connaissances mono-disciplinaires.

## **6. Résultats**

255 copies ont été évaluées. La moyenne des notes obtenues est de 08/20, avec un écart type de 3/20 avec :

- 18,61/20 comme meilleure note ;
- 03,15/20 comme note la plus basse.

# Exemple de sujet pour l'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnologique

## Robot porte-laparoscope

**Phase 1 – Conception et organisation d'une séquence de formation à un niveau imposé (durée : 4h00)**

**Partie 1.1 – Conception de l'architecture de la séquence de formation imposée (0h45)**

Objectifs : s'approprier le besoin pédagogique imposé par le jury et concevoir l'architecture de la séquence de formation.

### Contexte pédagogique de la séquence de formation imposée

La séquence pédagogique à construire est associée à un des deux contextes pédagogiques suivants, à choisir par le candidat :

	Choix 1	Choix 2
<b>Titre de la séquence</b>	Analyser, modéliser et résoudre pour vérifier les performances cinématiques des transmetteurs de mouvement.	Analyser, modéliser et résoudre pour valider le comportement temporel des Systèmes Linéaires Continus Invariants.
<b>Niveau de formation visé</b>	Première année PCSI – CPGE – Enseignement de Sciences Industrielles de l'Ingénieur	
<b>Supports pédagogiques</b>	Les supports suivants sont disponibles dans le laboratoire de sciences de l'ingénieur. Ils sont choisis judicieusement pour répondre au besoin pédagogique de la séquence imposée :	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Portail automatisé ;</li> <li>- Robot cueilleur de fruits (MaxPid) ;</li> <li>- Simulateur de course ;</li> <li>- Pilote hydraulique de bateau ;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Robot haptique ;</li> <li>- Direction assistée électrique ;</li> <li>- Plateforme 6 axes ;</li> <li>- Robot porte-laparoscope ;</li> <li>- Télescope Astrolab.</li> </ul>
<b>Effectif</b>	Classe de 40 à 42 élèves, groupe à effectif réduit de 20-21 élèves.	
<b>Volume horaire</b>	4 heures hebdomadaires (1 h cours + 1 h TD + 2h TP).	

Les documents suivants sont fournis et accessibles dans le dossier « contexte pédagogique » :

- le programme du niveau de formation visé (fichier Programme-pcsi\_sii.pdf) ;
- une proposition de séquences adaptée au niveau de formation visé (fichier Progression didactique PCSI-PSI.xlsx).

### Production attendue

Une architecture de séquence pédagogique doit être proposée en s'assurant de la cohérence, de la faisabilité et de la pertinence des choix effectués après avoir :

- contextualisé la séquence pédagogique dans une grande thématique ;
- recensé les compétences à développer et les savoir-faire et savoirs à faire acquérir aux élèves ;
- identifié les prérequis et le positionnement temporel de la séquence dans une progression pédagogique (vis-à-vis de la proposition de liste de séquences fournie) ;
- spécifié les modalités pédagogique et didactique (TP, TD, cours, projet, évaluation, remédiation, ...), leurs coordinations et leurs organisations.

## Partie 1.2 – prise en main du support didactisé (durée : 0h30)

Objectif : s'approprier l'environnement et la structure du support didactisé du laboratoire.

Le candidat dispose des éléments suivants :

- un robot porte-laparoscope Evolap ;
- les logiciels ServeurEvolap (déjà lancé à l'arrivée du candidat) et ClientEvolap installés sur l'ordinateur.

Le système présent dans le laboratoire est un robot porte-laparoscope utilisé pour remplacer un assistant lors des opérations chirurgicales. Un ensemble de capteurs équipe le robot et permet différentes acquisitions.

Un dossier ressources est fourni sous forme papier et numérique. Il comprend notamment :

- la définition du contexte d'utilisation du robot ;
- la présentation documentée des principaux constituants du produit (documents constructeurs,...) ;
- les protocoles expérimentaux pour les parties 1.2 et 1.3 de l'épreuve.

Un logiciel de pilotage et d'acquisition installé sur le poste informatique permet, entre autres :

- de réaliser des acquisitions et de voir la zone de travail à l'aide de la caméra équipée en bout de laparoscope ;
- de piloter le robot selon deux axes en boucle ouverte ou asservis en vitesse ;
- de traiter des résultats expérimentaux.

Prendre connaissance de l'annexe « 1 - Principe de la laparoscopie » du dossier ressources.

**Activité 1** Compléter le document réponse 1 permettant d'identifier les constituants du système.

Prendre connaissance du protocole expérimental n°1 fourni dans le dossier ressources.

**Activité 2** Mettre en œuvre le protocole expérimental n°1. Conclure quant à la possibilité pour le chirurgien de mouvoir le laparoscope et les outils simultanément à l'aide des images fournies par la caméra.

Prendre connaissance de l'annexe « 2 - Chaînes fonctionnelles du porte-laparoscope » du dossier ressources.

**Activité 3** Situer sur le système du laboratoire les différents constituants de la chaîne de puissance et d'information fournis sur le document réponse 2, et compléter les éléments manquants. Repérer sur le système réel les angles  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\theta$  et  $\varphi$ .

## Partie 1.3 – expérimentations pour répondre à la problématique technique et scientifique (durée : 2h00)

Problématique technique et scientifique : Comment le robot porte-laparoscope permet-il d'assister

le chirurgien durant une opération chirurgicale ?

## Analyse et mise en œuvre du suivi automatique de l'instrument chirurgical

### Analyse du mode de fonctionnement souhaité

Prendre connaissance de l'annexe « 3 - Diagramme d'états » dans le dossier ressources.

**Activité 4** Analyser le diagramme d'états, et identifier le mode mis en œuvre dans le protocole n°1. Décrire qualitativement le comportement attendu en « Mode suivi ».

### Mise en œuvre du suivi automatique de l'instrument chirurgical

En situation d'usage dans une salle d'opération, le mode de pilotage du porte-laparoscope est le mode suivi automatique. Ce mode consiste à positionner le laparoscope automatiquement par rapport à l'instrument chirurgical grâce au robot porte-laparoscope. L'objectif de cette partie est de proposer un algorithme pour ce suivi automatique de l'instrument chirurgical.

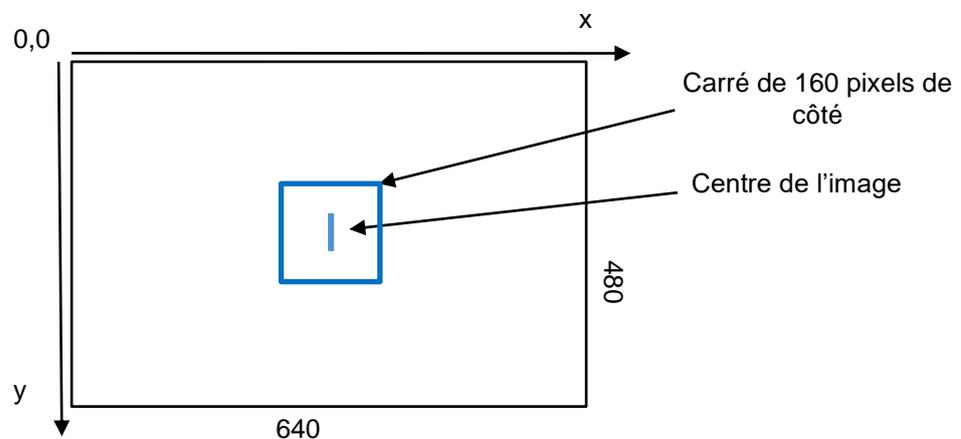
Prendre connaissance du protocole expérimental n°2 fourni dans le dossier ressources.

**Activité 5** Mettre en œuvre le protocole expérimental n°2 et décrire le comportement observé.

La suite de cette partie consiste à réaliser le suivi automatique de l'instrument chirurgical, c'est-à-dire, le pilotage des 2 actionneurs en fonction de la position de l'instrument chirurgical dans l'image acquise par la caméra. Les dimensions de l'image sont de 640x480 pixels (640 est la dimension de l'image selon l'horizontale et 480 est la dimension de l'image selon la verticale).

La logique de commande des actionneurs du robot porte-laparoscope retenue est décrite ci-dessous :

- le centre de la zone rouge de l'instrument chirurgical est repéré à partir de l'image fournie par la caméra ;
- lorsque celui-ci est en dehors d'un carré de 160 pixels de côté construit autour du centre de l'image, l'algorithme doit permettre de le ramener dans le carré.



La logique de commande est implantée dans la carte de commande et est programmée en langage Python, par le programme « programme\_suivi.py » commenté en fin de dossier ressources.

La fonction « `ma_fct` » à compléter est contenue dans une boucle exécutée à intervalle de temps régulier. Lorsque le laparoscope doit être mis en mouvement, l'amplitude de la commande des mouvements est prise égale à 5.

Les noms des variables et fonctions à utiliser sont :

- `pos_g` est une liste à deux dimensions contenant les coordonnées du barycentre de la surface rouge détectée automatiquement par la caméra. Pour accéder à la coordonnée de ce point selon l'axe horizontal, la syntaxe à utiliser est `pos_g[0]` (et `pos_g[1]` pour la coordonnée selon l'axe vertical) ;
- `mvt_gd(vitesse, output)` est une fonction permettant de déplacer le centre de l'image captée par la caméra de gauche à droite à la vitesse désirée. Ainsi pour :
  - o déplacer le laparoscope vers la gauche, l'instruction est `mvt_gd(5, output)` ;

- déplacer le laparoscope vers la droite, l'instruction est `mvt_gd(-5, output)` ;
- l'arrêter, il faut utiliser une vitesse nulle en argument ;
- `mvt_hb(vitesse, output)` est une fonction permettant de déplacer le centre de l'image captée par la caméra de haut en bas à la vitesse désirée. Ainsi pour :
  - déplacer le laparoscope vers le bas, l'instruction est `mvt_hb(5, output)` ;
  - déplacer le laparoscope vers le haut, l'instruction est `mvt_hb(-5, output)` ;
  - l'arrêter, il faut utiliser une vitesse nulle en argument.

Prendre connaissance du protocole expérimental n°3 fourni dans le dossier ressources.

**Activité 6** Réaliser le protocole expérimental n°3 fourni dans le dossier ressources et valider expérimentalement le fonctionnement observé par rapport au comportement attendu.

À ce stade de l'étude, nous disposons d'une solution permettant de piloter le porte-laparoscope en mode suivi automatique de l'instrument chirurgical, à l'aide des fonctions `mvt_gd` et `mvt_hb`. Or, les actionneurs (motoréducteurs M1 et M2) ne permettent pas directement de piloter les mouvements haut-bas et gauche-droite.

L'objectif de la suite de cette partie consiste à déterminer la loi de commande des 2 motoréducteurs permettant de générer les mouvements haut-bas (variation de l'angle  $\theta$ ) et gauche-droite (variation de l'angle  $\varphi$ ) du porte-laparoscope.

### Analyse et mise en œuvre de la commande des actionneurs

#### Analyse de la commande des actionneurs

Prendre connaissance du protocole expérimental n°4 fourni dans le dossier ressources.

**Activité 7** Mettre en œuvre le protocole expérimental n°4. Conclure en identifiant le ou les motoréducteurs à commander afin de faire évoluer l'angle  $\theta$ , ainsi que le ou les actionneurs à commander pour faire varier l'angle  $\varphi$ . Valider les définitions des fonctions `mvt_gd` et `mvt_hb` du fichier Python « programme\_suivi.py ».

#### Analyse et validation d'un modèle de simulation de la chaîne de puissance

**Activité 8** Ouvrir dans Matlab/Simulink le modèle « Evolap\_Act8.slx ». Analyser le modèle complet en proposant une correspondance entre les éléments modélisés et le système réel.

**Activité 9** Lancer des simulations avec des vitesses de consigne des motoréducteurs M1 et M2, telles que définies ci-dessous :

- consignes de vitesse angulaire des 2 motoréducteurs égales à 20 rad/s (à saisir dans le champ Final Value) ;
- consigne de vitesse angulaire du motoréducteur 2 égale à 20 rad/s et consigne de vitesse angulaire du motoréducteur 1 nulle.

Visualiser, pour chaque essai ci-dessus, les évolutions des angles  $\theta$  et  $\varphi$  en fonction du temps.

Conclure quant à la pertinence du modèle complet vis-à-vis de la commande identifiée à l'activité 7.

**Activité 10** Analyser, à partir des simulations, le découplage entre les évolutions des grandeurs angulaires  $\theta$  et  $\varphi$  vis-à-vis de la commande des motoréducteurs. Valider cette analyse par observation sur le système réel. Conclure sur les conséquences dans le cadre du suivi de l'outil chirurgical en cas de non-découplage.

## **Élaboration d'un modèle de simulation de la chaîne de puissance**

**Activité 11** Ouvrir dans Matlab/Simulink le modèle « Evolap\_Act11.slx ». Compléter le modèle associé au bloc « Différentiels » (n'utiliser qu'un seul des blocs mis à disposition), et valider le modèle.

À ce stade de l'étude, nous disposons de la loi de commande des motoréducteurs afin de mouvoir le laparoscope en mode suivi d'un instrument chirurgical. L'objectif de la fin de cette partie consiste à analyser la commande en vitesse des 2 motoréducteurs afin de s'assurer de la netteté des images fournies par la caméra située à l'extrémité du laparoscope.

### **Étude de la commande de vitesse des motoréducteurs**

Une commande en boucle ouverte de chaque motoréducteur est envisagée dans un premier temps.

#### **Analyse et mise en œuvre de la commande en boucle ouverte des motoréducteurs**

Prendre connaissance du protocole expérimental n°5 fourni dans le dossier ressources.

**Activité 12** Compléter le document réponse 3 en précisant le nom des composants manquants. Mettre en œuvre le protocole expérimental n°5, et commenter les résultats obtenus. Conclure quant à la possibilité d'utiliser une commande en boucle ouverte sur le robot porte-laparoscope.

#### **Analyse et mise en œuvre de la commande en boucle fermée des motoréducteurs**

Prendre connaissance du protocole expérimental n°6 fourni dans le dossier ressources.

**Activité 13** Mettre en œuvre le protocole n°6. Conclure quant à la nécessité de mettre en œuvre un asservissement de vitesse angulaire de chaque motoréducteur.

**Activité 14** Ouvrir dans Matlab/Simulink le modèle « Evolap\_Act8.slx » et double cliquer sur le bloc « Moteur M1 asservi en vitesse angulaire ». Analyser et décrire les différents blocs utilisés dans l'asservissement de vitesse angulaire. Réaliser une simulation sur 1s et observer l'évolution de la position angulaire des motoréducteurs en double cliquant sur le scope. Après avoir effectué une prise d'origine, réaliser l'expérience de l'activité 13 sur le robot porte-laparoscope, et comparer les performances en vue de valider le modèle de simulation.

### **Synthèse**

**Activité 15** À la lumière de toutes les activités réalisées dans ce TP, répondre à la problématique technique et scientifique.

## **Partie 1.4 – élaboration du scénario d'une séance à caractère expérimental (durée : 0h45)**

Objectif : développer une séance à caractère expérimental s'intégrant dans la séquence pédagogique proposée dans la partie 1.1.

### **Production attendue**

Une séance à caractère expérimental pertinente doit être proposée après avoir :

- situé cette séance dans la séquence pédagogique (objectifs et prérequis) ;
- décrit l'organisation matérielle et pédagogique de la séance (nombre d'élèves, systèmes utilisés, travail en îlots ou autres) ;
- décrit et justifié la (ou les) démarche(s) pédagogique(s) retenue(s) (démarche d'investigation, de résolution de problème technique, de projet ...) ;
- détaillé le scénario des activités que doivent réaliser les élèves sur le support didactisé à l'aide des documents fournis ci-après ;

- réalisé concrètement au moins une des activités expérimentales proposées dans la séance développée. Cette activité doit être nouvelle et différente de celles réalisées dans la partie 1.3. Préciser l'objectif de la manipulation entreprise, proposer et mettre en œuvre son protocole expérimental comme le feraient les élèves et analyser les résultats obtenus ;
- expliciter clairement l'apport de la séance proposée dans le développement des savoir-faire et compétences des élèves.

### **Phase 2 – préparation de l'exposé (durée : 1h00)**

Objectif : finaliser le support de présentation pour l'exposé devant le jury.

#### **Production attendue**

Un document numérique doit être réalisé afin de :

- présenter la séquence pédagogique ;
- présenter la pertinence du support didactisé par rapport au besoin pédagogique ;
- présenter la séance à caractère expérimental.

### **Phase 3 – exposé oral et entretien avec le jury en salle (durée : 1h00)**

|

# Rapport du jury de l'épreuve d'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnologique

## A. Présentation de l'épreuve

### Textes de référence

<http://www.devenirenseignant.gouv.fr/cid98734/les-epreuves-de-l-agregation-externe-section-sciences-industrielles-de-l-ingenieur.html>

- Durée totale 6 heures (activités pratiques 4 heures, préparation de l'exposé 1 heure, exposé 30 minutes maximum, entretien 30 minutes).
- Coefficient 2.
- 10 points sont attribués à la partie liée aux activités pratiques et 10 points à la partie liée à l'exposé et à l'entretien avec le jury.

L'épreuve fait appel à des connaissances technologiques et scientifiques communes à l'ensemble des options.

Le candidat est amené au cours de cette épreuve à élaborer **une séquence pédagogique dont le contexte est imposé**. Il doit notamment y intégrer le développement d'une séance à caractère expérimental. Elle sera construite autour d'activités pratiques proposées par le candidat, sur un support didactique imposé.

Au cours de l'entretien, le candidat est conduit à préciser certains points de sa présentation. Il est amené à expliquer et justifier les choix didactique et pédagogique qu'il a opérés notamment dans l'élaboration de la séquence de formation présentée ainsi que pour les contenus de la séance à caractère expérimental conçue.

Pour la session 2023, l'exploitation pédagogique demandée est relative aux enseignements non spécifiques de la spécialité ingénierie, innovation et développement durable du cycle terminal sciences et technologies de l'industrie et du développement durable (STI2D) ou de l'enseignement des sciences de l'ingénieur du lycée général et des classes préparatoires aux grandes écoles.

Le support didactique fourni est un système pluritechnologique qui permet une analyse systémique globale.

### Déroulement de l'épreuve

L'objectif de la première épreuve d'admission de l'agrégation de SII est de permettre d'évaluer chez les candidats leurs compétences pour s'inscrire dans la démarche d'un agrégé de sciences industrielles de l'ingénieur capable d'élaborer une exploitation pédagogique à partir d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnologique.

Le titre d'une séquence pédagogique étant imposé, le candidat doit d'abord préparer la trame détaillée de celle-ci en respectant le niveau de formation visé et les effectifs de la classe. Il doit ensuite répondre à une problématique technique et scientifique comprenant des activités pratiques. Le candidat prépare enfin une séance à caractère expérimental s'inscrivant dans la séquence imposée. **Les activités expérimentales proposées doivent être différentes de celles déjà effectuées pour répondre à la problématique technique et scientifique et être adaptées au niveau de formation visé.**

Les compétences attendues par le jury sont pédagogiques, comportementales et scientifiques.

Le candidat doit montrer ses aptitudes à :

- concevoir, organiser et décrire une séquence dans un contexte pédagogique imposé ;
- s'approprier un système réel ou un équipement et son environnement ;
- élaborer, justifier, conduire et exploiter un protocole expérimental ;
- analyser le comportement d'un système à partir d'un modèle ;
- maîtriser, conduire et exploiter une simulation numérique ;
- formuler des conclusions pour choisir et décider ;
- mener des démarches avec rigueur et évoluer avec autonomie.

L'évaluation du candidat s'effectue en trois phases.

### **Phase 1 – Conception et organisation d'une séquence de formation à un niveau imposé (durée 4h00)**

Cette première phase d'une durée totale de 4h00 compte quatre parties.

Elle se déroule dans un laboratoire où sont mis à disposition du candidat un support d'étude, un environnement numérique de travail connecté à Internet, des moyens de mesure ou de simulation et si besoin des logiciels spécifiques d'acquisition.

#### **➤ Première partie (durée 0h45) – Réflexions pédagogiques sur la séquence imposée**

Pour cette première partie, le candidat doit réfléchir et proposer une séquence de formation parmi deux qui lui sont proposées. Pour chacune d'entre elles, le contexte pédagogique est imposé. Ce dernier est composé :

- du titre d'une des deux séquences imposées ;
- du niveau de formation visé ;
- d'une proposition de progression didactique liée à la formation visée ;
- du programme du niveau de formation visé ;
- d'une liste non exhaustive de supports matériels pédagogiques d'un laboratoire de Sciences de l'Ingénieur.

Le candidat doit recenser les compétences à développer, en intégrant les savoir-faire et savoirs du programme du niveau imposé en lien avec le titre d'une des deux séquences proposées au choix. Puis il doit proposer une trame détaillée de celle-ci (activités, durée, coordination). Les pré-requis de la séquence doivent être identifiés vis-à-vis de la progression didactique proposée et présentée. Le candidat doit justifier ses choix pédagogiques et didactiques (TP, TD, cours, projet...). L'ensemble de ces éléments doit être rédigé sur un support de présentation numérique, qui sera présenté et évalué lors de la troisième phase.

#### **➤ Deuxième partie (durée 0h30) – Prise en main du support**

Pour cette deuxième partie, les manipulations proposées ont pour objectif de faciliter la compréhension du fonctionnement global du système. À la fin de cette première partie, l'examinateur s'assure que le candidat s'est bien approprié le support de TP. L'objectif de cette partie est de faire émerger une problématique technique et scientifique à résoudre.

#### **➤ Troisième partie (durée 2h00) – Expérimentations pour répondre à une problématique technique et scientifique imposée**

Pour cette partie, le candidat doit répondre aux activités à caractère expérimental proposées afin de résoudre la problématique technique et scientifique, par la mobilisation de compétences caractéristiques du niveau de l'agrégation. L'exploitation des résultats obtenus (hypothèses, modèles, résultats expérimentaux, valeurs numériques...), la mise en évidence des écarts entre les performances souhaitées, les performances mesurées et les performances simulées et la proposition de solutions pour les réduire doivent permettre d'apporter une réponse aux problèmes posés.

#### **➤ Quatrième partie (durée 0h45) – Élaboration du scénario d'une séance à caractère expérimental**

Pour cette quatrième partie, le candidat doit décrire une séance à caractère expérimental s'insérant dans la séquence pédagogique en :

- situant la séance à caractère expérimental dans sa proposition de séquence pédagogique ;
- précisant l'organisation matérielle et pédagogique de la séance (nombre d'élèves, systèmes utilisés, travail en îlots,...) ;
- décrivant la (ou les) démarche(s) pédagogique(s) retenue(s) (démarche d'investigation, de résolution de problème technique, de projet,...) ;
- détaillant le scénario des activités que doivent réaliser les élèves ;
- proposant et en mettant en œuvre au moins un protocole expérimental différent de ceux qu'il a effectués dans la troisième partie ;
- explicitant clairement l'apport de la séance proposée dans le développement des compétences des élèves.

Pendant toute la durée de cette partie, le candidat a accès aux logiciels de simulation, au système et aux matériels de travaux pratiques. Le candidat doit donc entreprendre de réaliser de nouvelles simulations ou expérimentations utiles pour étayer et créer la trame de sa séance. Les examinateurs n'évaluent pas le candidat durant cette partie mais sont disponibles en tant qu'assistant technique.

### **Phase 2 – Préparation de l'exposé (durée 1h00)**

Le candidat prépare son intervention devant le jury permanent en complétant son support de présentation numérique. Le candidat n'a plus accès au matériel de travaux pratiques, c'est-à-dire, ni au système, ni aux modèles associés, ni aux logiciels de simulation, mais conserve à sa disposition l'ensemble des ressources associées au sujet. Il dispose d'un poste informatique connecté à Internet et doté des logiciels courants de bureautique, et des résultats obtenus lors de la phase précédente qu'il aura stockés dans un espace dédié sur un serveur.

### **Phase 3 – Exposé oral et entretien avec le jury en salle (durée 1h00)**

Le candidat a à sa disposition un tableau, un ordinateur et un vidéoprojecteur pour la présentation devant le jury. L'exposé du candidat devant le jury a une durée de 30 minutes maximum sans intervention du jury.

L'exposé doit comporter :

- la description du contexte pédagogique imposé ;
- la présentation de ses réflexions pédagogiques et la justification de ses choix de modalités pédagogiques ;
- la présentation de la trame de la séquence pédagogique en y intégrant l'évaluation ;
- la présentation des savoir-faire et savoirs à transmettre dans chaque séance ;
- la justification de la pertinence du support didactisé dans ce contexte pédagogique (durée maximale 5 minutes) ;
- la démarche mise en œuvre dans la séance à caractère expérimental ;
- la présentation d'une ou des activités que devraient mener les élèves durant la séance d'activités à caractère expérimental ;
- la présentation de la valeur ajoutée pédagogique dans la formation de la séance proposée.

Il est à noter que durant la présentation des travaux devant le jury, il n'est absolument pas attendu des candidats qu'ils présentent à nouveau les résultats aux activités menées dans le cadre des deuxième et troisième parties de la phase 1. En effet, ceux-ci ont déjà conduit à une évaluation par le jury en salle de TP. Seule est attendue la présentation des activités envisagées de faire réaliser aux élèves lors de la séance à caractère expérimental incluse dans la séquence pédagogique exposée. Néanmoins les résultats expérimentaux ou de simulation numérique peuvent être utilisés afin d'illustrer la séquence ou la séance expérimentale.

L'exposé du candidat est suivi d'un entretien avec le jury d'une durée de 30 minutes.

Le jury est amené à interroger les candidats, afin d'apprécier leur connaissance des principes fondamentaux du système éducatif et du cadre réglementaire de l'école, sur la manière dont ils envisagent d'accompagner les élèves dans leur parcours de formation, ou bien sur leur positionnement au sein de la communauté éducative.

Au cours de l'entretien, les candidats sont amenés à :

- préciser certains points de leurs présentations ;
- expliciter et justifier les choix de nature didactique et/ou pédagogique qu'ils ont opérés.

### **Utilisation des logiciels pendant l'interrogation**

Aucun pré-requis ne peut être exigé du candidat concernant l'utilisation d'un logiciel. Les consignes d'utilisation sont indiquées dans le sujet ou fournies oralement. Les modeleurs volumiques ne sont pas utilisés comme outil de conception de formes mais comme un outil de lecture de documents.

Les supports retenus lors de la session 2023 étaient les suivants :

- volet roulant ;
- système de travelling ;
- imprimante 3D ;
- axe linéaire didactisé ;
- robot d'assistance à la chirurgie laparoscopique ;
- ventilation mécanique contrôlée double flux ;

- système de déplacement de caméra ;
- attelle de remobilisation du genou.

Ces supports ont permis aux candidats de mettre en œuvre leurs compétences à haut niveau scientifique sur les activités suivantes :

- élaboration et mise en œuvre d'un protocole expérimental ;
- identification des comportements de constituants ou d'un système ;
- mesure de comportement de constituants ou d'un système ;
- détermination des paramètres significatifs d'une chaîne de mesure ;
- détermination des paramètres significatifs d'une chaîne d'information ;
- détermination des paramètres significatifs d'une chaîne de puissance ;
- détermination des paramètres significatifs d'une modélisation ;
- analyse d'algorithmes simples ou de quelques lignes de programmes simples (en langage python, arduino, etc) ;
- recalage d'un modèle multiphysique ou non ;
- choix des modèles de comportement ou de connaissance ;
- validation de modèles ;
- simulation et prédiction de performance ;
- évaluation des écarts.

## B. Commentaires du jury

### ● Analyse des résultats

**Les candidats préparés** mobilisent à bon escient leurs compétences pour répondre à la problématique pédagogique demandée. Le déroulement de la séquence pédagogique est structuré et cohérent. Ils positionnent convenablement la séance à caractère expérimental en présentant de nouvelles activités pratiques qu'ils ont réalisées durant la quatrième partie de la première phase. Les pré-requis, les objectifs, les démarches pédagogiques et d'évaluation sont bien assimilés et correctement décrits lors de l'exposé oral. Ces candidats ont généralement produit une présentation orale de qualité. La conduite des expérimentations pour répondre à la problématique technique et scientifique est traitée par la majorité des candidats.

Certains candidats présentent une séquence pédagogique qui ne respecte pas le contexte imposé, se plaçant ainsi hors sujet. Lors de l'exposé oral, quelques candidats présentent le système et les résultats obtenus pendant la troisième partie de la première phase, or ce ne sont pas les attendus de l'épreuve. De même, les activités pratiques réalisées pendant la troisième partie de la première phase sont souvent reprises dans la séance, alors que le jury en attend de nouvelles. L'explication de la pertinence du système, dans le cadre de la séance expérimentale proposée est souvent oubliée.

### ● Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

#### Phase 1 – Première partie : réflexions pédagogiques sur la séquence imposée

Le jury constate que :

- les déroulements des séquences sont souvent imprécis et peu approfondis ;
- les compétences visées sont peu ciblées ;
- le choix des stratégies pédagogiques mises en œuvre est rarement pertinent et justifié ;
- l'évaluation est souvent absente de la séquence.

Le jury attend une séquence pédagogique structurée en lien avec une thématique sociétale. Elle doit faire apparaître les pré-requis, les compétences et connaissances associées, le positionnement temporel, le déroulement des différentes séances la constituant et l'évaluation adéquate.

Il est proposé au candidat le choix entre deux séquences pédagogiques associant des compétences différentes d'un même niveau. Cette possibilité laissée au candidat est bien appréhendée. Pour tous les sujets, l'une et l'autre des propositions ont été traitées.

Les outils et méthodes de l'ingénierie pédagogique doivent être connus et maîtrisés. Le jury ne peut se satisfaire d'un exposé de pédagogie formel ou d'une récitation d'un extrait de programme. Il souhaite qu'il soit fait preuve d'imagination et de créativité dans le contenu pédagogique présenté afin de susciter l'intérêt et la motivation des élèves.

Pour les futures sessions, le jury conseille aux candidats d'étudier préalablement et attentivement les programmes et les objectifs des formations dont peuvent être issus les contextes pédagogiques imposés : enseignement de spécialité « sciences de l'ingénieur », enseignements technologiques de spécialités du cycle terminal STI2D et enseignement « sciences industrielles de l'ingénieur » des CPGE. Cette étude, ainsi que la lecture des documents « ressources pour faire la classe » et des guides d'équipement, leur permettront de proposer une exploitation pédagogique en adéquation avec le niveau imposé. Une réflexion pédagogique sur les objectifs de formation de ces séries et classes post-bac est indispensable pour réussir cette partie de l'épreuve.

Le jury engage les candidats à clairement indiquer la ou les démarches pédagogiques qui structureront l'organisation pédagogique retenue (démarche d'investigation, démarche de résolution de problème technique, démarche scientifique ou encore démarche de projet technologique).

### **Phase 1 – Deuxième partie : prise en main du support**

Pour cette partie, les manipulations ainsi que les activités proposées ont pour objectif de faciliter la compréhension du fonctionnement global du système, de s'appropriier le support du travail pratique et la problématique technique et scientifique proposée. Les candidats disposent d'un dossier technique, d'un dossier ressource, ainsi que diverses ressources numériques. Le système proposé au candidat peut être le système réel ou un système didactisé.

Les manipulations proposées sont très guidées de sorte que le candidat peut rapidement appréhender l'environnement logiciel et matériel du support. Certains candidats se trouvent en difficulté dès cette phase de prise en main. Le jury leur recommande de se confronter plus régulièrement à la manipulation de systèmes réels et/ou didactisés.

### **Phase 1 – Troisième partie : expérimentations pour répondre à une problématique technique et scientifique imposée**

Pour cette phase, le jury tient à porter à l'attention des candidats les points suivants :

- la maîtrise du raisonnement scientifique et la caractérisation des échanges d'énergie, de matière et d'information à un niveau de généralités permettent de s'adapter à une large diversité de systèmes ;
- l'extraction des informations pertinentes dans les ressources mises à disposition constitue un préalable indispensable à l'appropriation du système et de la problématique ;
- la problématique scientifique et technique doit être comprise afin d'y répondre. Elle permet d'appréhender correctement le fil directeur des activités et manipulations proposées ;
- les analyses externes et internes des systèmes gagnent en pertinence lorsqu'elles sont appuyées sur des outils formalisés (schéma des chaînes de puissance et d'information, diagrammes SysML) ;
- une bonne culture personnelle pluritechnologique, fondée sur l'observation et l'analyse de systèmes variés et modernes, est indispensable.

Le candidat est amené à :

- utiliser une instrumentation spécifique dédiée à la mesure de grandeurs physiques sur les systèmes instrumentés ;
- mettre en œuvre différents outils informatiques (logiciels de pilotage et/ou d'acquisition dédiés aux supports, logiciels de simulation, modéleur, logiciel de calculs par éléments finis, tableurs, traitements de textes, logiciels de calcul ou de visualisation, environnements de programmation...).

Le jury assiste le candidat en cas de difficultés matérielles ou de mise en œuvre des différents outils informatiques. La maîtrise de ces logiciels n'est pas exigée.

Lors des activités pratiques, le jury souhaite que les candidats s'attachent à :

- lire et analyser l'ensemble du sujet proposé ;
- maîtriser la durée consacrée à chaque activité ;
- maîtriser les outils d'analyse courants (structurels, fonctionnels et comportementaux) ;
- exploiter et interpréter l'ensemble des résultats des expérimentations et des mesures dans leur totalité et de façon rigoureuse ;
- corrélérer les résultats des simulations et des expérimentations en les associant à des phénomènes physiques et à des solutions technologiques ;
- effectuer une analyse critique des résultats expérimentaux ;

- vérifier la cohérence et la pertinence des résultats expérimentaux ;
- mettre en œuvre une démarche de résolution du problème technique et scientifique posé ;
- réfléchir à de nouvelles activités pratiques pouvant nourrir la séance expérimentale qui sera présentée.

Le jury précise que les supports de travaux pratiques sont principalement issus des laboratoires SI, STI2D, CPGE et couvrent l'ensemble des champs disciplinaires transversaux des sciences industrielles de l'ingénieur.

### **Phase 1 – Quatrième partie : élaboration du scénario d'une séance à caractère expérimental**

Le jury constate que :

- cette partie est la plus délicate pour un grand nombre de candidats ;
- la séance à caractère expérimental n'intègre pas toujours des activités pratiques différentes de celles réalisées lors de la troisième partie de la première phase ;
- les activités proposées aux élèves sont peu détaillées.

Le candidat doit développer une séance expérimentale contextualisée, positionnée avec pertinence dans la séquence pédagogique proposée. Il est attendu la description des activités proposées aux élèves. La configuration pédagogique choisie doit être justifiée.

Les manipulations et protocoles de mesures insérés dans la séance doivent être adaptés au niveau requis. Ils doivent être différents de ceux réalisés lors de la troisième partie « expérimentations » tout en utilisant le système de l'épreuve. Des modalités d'évaluation doivent également être présentées et justifiées pédagogiquement.

### **Phase 3 – Exposé oral et entretien avec le jury en salle**

La majorité des candidats n'utilise pas le temps imparti pour la présentation de 30 minutes. L'utilisation de la durée prévue leur permettrait de préciser leurs réflexions pédagogiques trop souvent formatées.

Il n'est pas attendu des candidats la présentation des activités réalisées lors de la première phase de cette épreuve, déjà évaluées au cours de la première phase.

Le jury attend lors de cette phase de présentation de la séquence pédagogique que le candidat soit capable de :

- présenter le contexte pédagogique imposé ;
- situer la séquence de formation en l'inscrivant dans la formation au niveau requis ;
- expliciter les connaissances et les compétences visées par la séquence ;
- décrire le déroulement de la séquence ;
- situer la séance expérimentale dans la séquence pédagogique ;
- expliciter les connaissances et compétences visées dans la séance ;
- présenter la pertinence du système pour les activités pratiques de la séance ;
- définir l'enchaînement des activités réalisées par les élèves dans la séance ainsi que les résultats attendus ;
- justifier les choix pédagogiques retenus ;
- présenter les moyens de l'évaluation des connaissances et compétences acquises par les élèves ou étudiants.

Le jury attend également du candidat qu'il mette en œuvre des compétences professionnelles telles que :

- produire un discours clair, précis et rigoureux en sachant attirer l'attention du jury ;
- être pertinent et réactif aux questions posées ;
- être capable de dégager l'essentiel, de donner du sens aux connaissances développées et de captiver l'auditoire.

Le jury conseille aux candidats qui n'en auraient pas eu la possibilité au cours de leur formation, de prendre contact avec un établissement scolaire dispensant les filières de formation visées par le concours et de s'y déplacer afin de prendre connaissance des réalités matérielles, humaines et organisationnelles du terrain.

### **Comportement des candidats**

Les candidats doivent être méthodiques et rigoureux pour appréhender un système pluritechnologique dans sa globalité et dans sa complexité. L'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale et transversale d'un système pluritechnologique ne s'improvise pas. Elle doit se préparer tout au long des formations conduisant à l'agrégation.

Les candidats doivent éviter les présentations stéréotypées ne permettant pas de mettre en valeur la qualité de leur réflexion personnelle. Les contenus scientifiques des séquences doivent être maîtrisés par les candidats, l'accès à Internet étant toujours possible sur des sites publics.

Le jury apprécie lorsque les diapositives sont numérotées lors de la présentation orale : cela lui permet de se référer plus facilement aux éléments de présentation. Le jury déplore les fautes d'orthographe dans les supports numériques présentés ; elles nuisent à l'image du candidat. Les candidats se présentant au concours de l'agrégation se destinent à être de futurs cadres de l'éducation nationale. Ils se doivent d'avoir un vocabulaire, un comportement et une tenue en adéquation avec le métier d'enseignant.

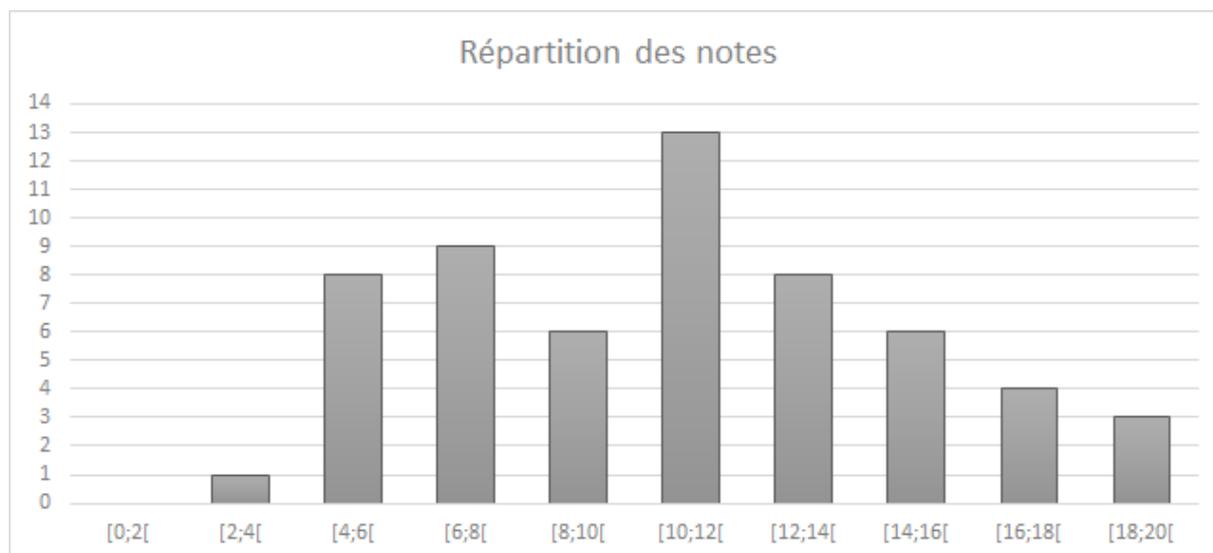
## Conclusion

La session 2023 de l'agrégation externe SII confirme que l'usage d'un laboratoire unique, composé de systèmes pluritechnologiques, commun aux quatre options de l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur, impose au candidat de s'appropriier tous les champs disciplinaires transversaux liés au triptyque « matière, énergie et information ». Au-delà même de la juxtaposition des savoirs pluridisciplinaires indispensables pour réussir cette épreuve, cette session met aussi en évidence toute l'importance, pour un candidat, d'être réellement apte à appréhender les systèmes dans leur globalité. Enfin, les compétences en ingénierie pédagogique attendues lui imposent une connaissance approfondie des différents programmes, des objectifs de formation associés et des stratégies pédagogiques préconisées.

## C. Résultats

58 candidats ont composé pour cette épreuve. La moyenne des notes obtenues est de 10,6/20, et l'écart-type 4,1 avec :

- 19 comme meilleure note ;
- 03,7 comme note la plus basse.



# Exemple de sujet pour l'épreuve d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnologique

## SUPPORT ÉTUDIÉ : SKI DE SLALOM



Thème pédagogique	Études proposées
Caractérisation du Flex d'un ski	<ul style="list-style-type: none"><li>• Étude de la structure en flexion</li><li>• Étude des impacts environnementaux</li></ul>

**Cette épreuve, de coefficient 2, dure 6 heures et comporte trois phases :**

- phase 1 - activités pratiques de laboratoire (durée 4 h) ;
- phase 2 - préparation de l'exposé (durée 1 h) ;
- phase 3 - exposé oral et entretien avec le jury en salle (durée 1h).

L'utilisation d'une calculatrice est autorisée (conformément à la circulaire n°99-186).

## LIBELLÉ DE LA SÉQUENCE PÉDAGOGIQUE

Pour cette exploitation pédagogique, les contraintes de travail sont énoncées ci-dessous.

Niveau

- Diplôme visé : Filière STI2D avec trois thèmes possibles

### 1) le thème Approche Environnementale

1.5. Approche environnementale								
1.5.1. Cycle de vie	Liens sciences	IT	I2D	AC	ITEC	EE	SIN	Commentaires
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cycle de vie d'un produit.</li> </ul>		2						Les différentes phases du cycle de vie d'un système sont définies, en mettant un focus particulier sur le cycle de développement du produit.
1.5.2. Mise à disposition des ressources	Liens sciences	IT	I2D	AC	ITEC	EE	SIN	Commentaires
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Coûts relatifs, disponibilité, impacts environnementaux des matériaux.</li> </ul>	PC : l'énergie et ses enjeux.		2					Les études de dossiers technologiques doivent permettre l'identification des paramètres influant sur le coût de l'énergie et sur sa disponibilité : localisation et ressources estimées,
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Enjeux énergétiques mondiaux : extraction et transport, production</li> </ul>	PC : organisation de la matière,		2					
1.5.3. Utilisation raisonnée des ressources	Liens sciences	IT	I2D	AC	ITEC	EE	SIN	Commentaires
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Propriétés physico-chimiques, mécaniques et thermiques des matériaux.</li> </ul>	PC : l'énergie et ses enjeux.		2					Uniquement en complément du programme de physique chimie.
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Impacts environnementaux associés au cycle de vie du produit :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- conception (optimisation des masses et des assemblages) ;</li> <li>- contraintes d'industrialisation, de réalisation, d'utilisation (minimisation et valorisation des pertes et des rejets) et de fin de vie.</li> </ul> </li> </ul>	PC : organisation de la matière, propriétés des matériaux.		2	3	3	3		Approche comparative sur des cas d'optimisation. Ce concept est abordé à l'occasion d'études de dossiers techniques globales portant sur les différents champs technologiques.
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Efficacité énergétique d'un produit.</li> </ul>			2			3		Minimisation de la consommation énergétique. Apport de la chaîne d'information associée à la commande pour améliorer l'efficacité globale d'un produit.

3.2.3. Concept de résistance	Liens sciences	IT	I2D	AC	ITEC	EE	SIN	Commentaires
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Résistance à la rupture, résistance à la déformation.</li> <li>▪ Résistance des matériaux :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- hypothèses et modèle poutre ;</li> <li>- notion de contrainte normale ;</li> <li>- pour une sollicitation de traction simple, notion de déformation et loi de Hooke ;</li> <li>- module d'Young ;</li> <li>- limite élastique ;</li> <li>- sollicitation simple de type traction, compression, flexion simple.</li> </ul> </li> <li>▪ Simulations par éléments finis.</li> </ul>			2	3	3			L'utilisation de progiciels intégrant un module de calcul par éléments finis ou dédié est privilégiée. Lien indispensable avec les essais des matériaux du chapitre 6.
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Déformation et contraintes normales dans une structure isostatique :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- en flexion simple (poutre isostatique) ;</li> <li>- en traction et en compression simple.</li> </ul> </li> </ul>				3	3			Analyse de structures simples en traction/compression simple ou flexion simple, analyse des contraintes normales et tangentielles, des déformations et déplacements.
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Scénario de simulation pour comparer et valider une solution, modifier une pièce ou un sous-ensemble.</li> </ul>				3	3			Il s'agit, par études de cas successives, d'appréhender différentes natures de simulation ou différents paramétrages au sein d'une même simulation.

### 3) Le thème Essais sur les Matériaux et les structures

6.2. Expérimentations et essais								
	Liens sciences	IT	I2D	AC	ITEC	EE	SIN	Commentaires
<ul style="list-style-type: none"> <li>Protocole d'essai.</li> <li>Sécurité de mise en œuvre.</li> </ul>	PC : mesures et incertitudes PC : l'énergie électrique		3					La nécessité d'une démarche raisonnée, progressive, organisée en fonction de l'objectif recherché est expliquée. La nécessité de procédures de mise en œuvre en sécurité est expliquée vis-à-vis des risques rencontrés.
<ul style="list-style-type: none"> <li>Expérimentation sur les matériaux et sur les structures.</li> </ul>	PC : organisation de la matière, propriétés des matériaux		2	3	3			Les expérimentations seront réalisées sur des : - éprouvettes (traction, compression, flexion simple), afin de valider une forme, une répartition de matière ou une caractéristique d'un matériau (y compris composite) ; - des maquettes de solutions techniques à échelle réduite, réelle ou in situ pour déterminer l'influence d'un paramètre par comparaison ou valider la solution.

Les compétences visées seront choisies parmi celles encadrées ci-dessous :

Objectifs de formation	Compétences développées	IT	I2D	2I2D	Connaissances
Dimension socio-culturelle O1 - Caractériser des produits ou des constituants privilégiant un usage raisonné du point de vue développement durable.	CO1.1. Justifier les choix des structures matérielles et/ou logicielles d'un produit, identifier les flux mis en œuvre dans une approche de développement durable.	X	XX	XX	1-3 / 1-4 / 1-5 / 2-1 / 4-2
	CO1.2. Justifier le choix d'une solution selon des contraintes d'ergonomie et de design.	X	XX	XX	1-1 / 1-3 / 1-5 / 2-1
	CO1.3. Justifier les solutions constructives d'un produit au regard des performances environnementales et estimer leur impact sur l'efficacité globale.		XX	XX	1-5 / 3-1 / 3-3 / 4-1 / 4-3 / 5

Objectifs de formation	Compétences développées	IT	I2D	2I2D	Connaissances
Dimension scientifique et technique O6 – Préparer une simulation et exploiter les résultats pour prédire un fonctionnement, valider une performance ou une solution.	CO6.1. Expliquer des éléments d'une modélisation multiphysique proposée relative au comportement de tout ou partie d'un produit.		XX	XX	1-2 / 2-3 / 2-4 / 3 / 5-2 / 5-3
	CO6.2. Identifier et régler des variables et des paramètres internes et externes utiles à une simulation mobilisant une modélisation multiphysique.		XX	XX	3
	CO6.3. Évaluer un écart entre le comportement du réel et les résultats fournis par le modèle en fonction des paramètres proposés, conclure sur la validité du modèle.	X	XX	XX	3 / 6-3
	CO6.4. Choisir pour une fonction donnée, un modèle de comportement à partir d'observations ou de mesures faites sur le produit.	X	XX	XX	3 / 6-3
	CO6.5. Interpréter les résultats d'une simulation et conclure sur la performance de la solution.			XX	
	Simulation d'un usage ou d'un comportement structurel, thermique, acoustique, etc. de tout ou partie d'une construction.			AC1	3-1 / 3-2 / 4-1 / 5-1
	Simulation de procédés pour valider un moyen de réalisation.			AC2	3-1 / 3-2
	Simulation énergétique (électrique, mécanique, thermique, lumineuse, etc.) de tout ou partie d'un produit connaissant les caractéristiques utiles et les paramètres externes et internes.			EE1	3-1 / 3-2 / 3-3 / 5-2
	Simulation de la gestion de la chaîne de puissance.			EE2	3-1 / 3-3 / 3-4 / 5-3
	Simulation mécanique pour obtenir les caractéristiques d'une loi d'entrée/sortie d'un sous-ensemble mécanique ou observer le comportement sous charges d'un assemblage.			ITEC1	3-1 / 3-2 / 3-3 / 4-1 / 5-1
Simulation de procédés pour valider les formes et dimensions d'une pièce.			ITEC2	3-1 / 3-2 / 4-1 / 4-3	
Simulation d'un comportement informationnel faisant intervenir un ou plusieurs constituants matériels et/ou traitements logiciels simples d'une chaîne d'information.			SIN1	3-1 / 3-4 / 5-3	

La séquence pédagogique prend appui sur le support étudié ainsi que sur les activités pratiques ou expérimentales menées durant la première phase. Ces manipulations expérimentales pourront être modifiées et/ou adaptées au niveau visé.

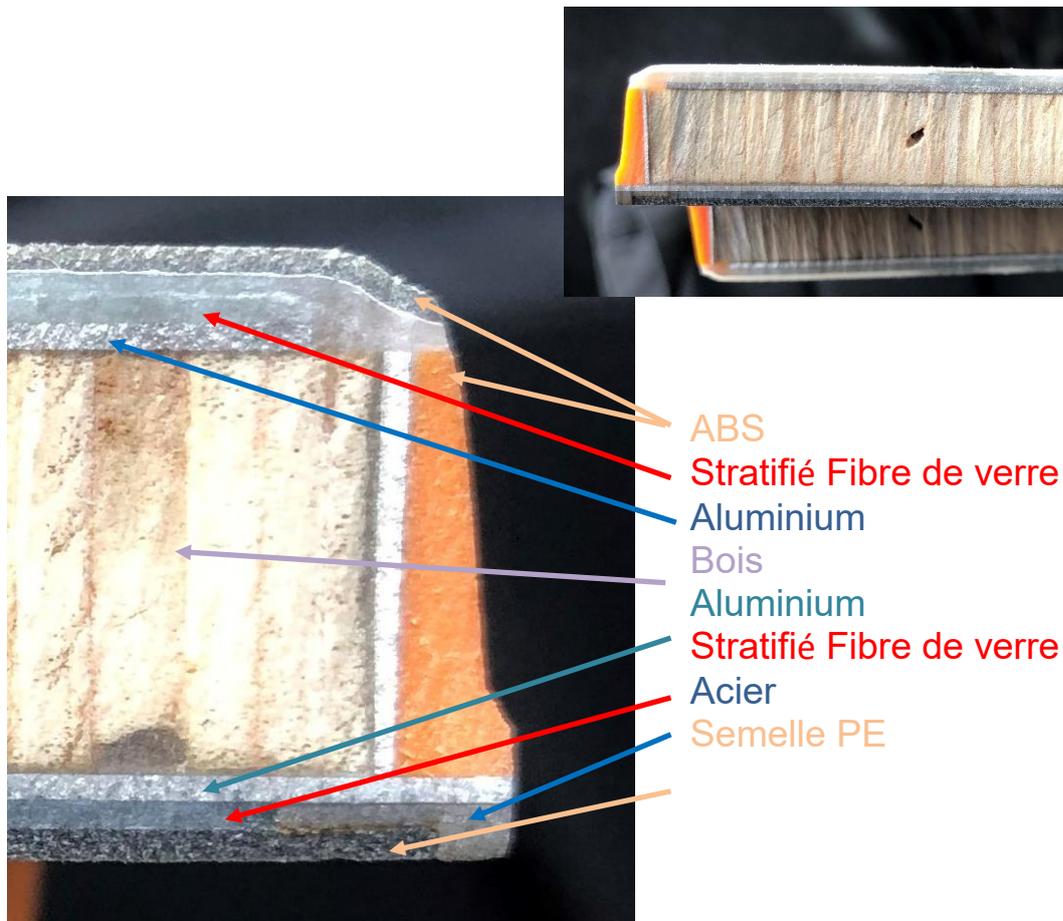
## PREMIÈRE PHASE – ACTIVITÉS PRATIQUES DE LABORATOIRE – 4h

Première partie – 30 minutes

*Remarque : cette partie propose des manipulations guidées dont la seule fin est de prendre en main le support. Toutes les questions relatives à la prise en main peuvent être posées aux membres du jury pendant cette première demi-heure de façon à être autonome par la suite.*

### Présentation de la problématique

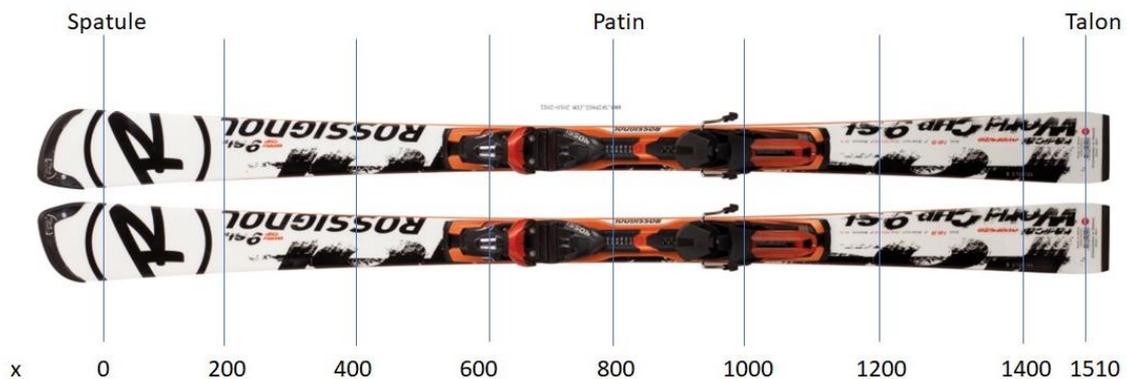
Les skis sont des structures complexes en forme (poutre de section variable) et en composition : 7 matériaux différents répartis en une dizaine de couches le constituent.



La flexibilité correspond à l'inverse de la rigidité des skis dans les virages. Une grande flexibilité des skis est idéale pour les débutants, les skieurs légers et les amateurs de parcs à neige puisqu'elle facilite le contrôle et procure une bonne prise de carres. Les skis plus rigides offrent plus de support et réduisent les vibrations à haute vitesse. Ils sont adaptés pour les skieurs en compétition. La souplesse du ski en torsion est aussi un élément important sur son comportement en situation.

Les fabricants de skis proposent plusieurs types de skis dans différents couples matériaux/procédés. La problématique qui guidera cette activité pratique et qui pourra aussi guider l'écriture de la séquence pédagogique est la suivante :

**Comment caractériser simplement la flexibilité de la structure complexe d'un ski ?**



Position des sections repérées sur le ski

Le sujet comporte 4 parties : une première partie « expérimentation et identification d'un modèle global », une seconde partie « identification d'un modèle local sur la section centrale », une troisième partie « analyse environnementale des matériaux » et une quatrième partie « transposition de cette étude à la torsion ».

#### Moyens

- Moyens expérimentaux : banc de flexion BED 100, moyens de mesure.
- Moyens logiciels : CES Edupack, Matlab, Excel
- Skis découpés au jet d'eau

### Activité 1 : Mise en œuvre d'une machine de caractérisation des structures

**Objectif : Caractériser expérimentalement la flexibilité du ski**

La lecture des fiches 1 (RdM) et 2 (Bed 100) est nécessaire pour la réalisation de cette activité.

- 1.1 Proposer une démarche succincte permettant de répondre à la problématique, le ski ayant une section variable en dimension et composition.
- 1.2 En utilisant le matériel à votre disposition, mettre en œuvre le protocole d'essais de flexion 3 points par tronçon. Quels sont les critères de choix de la longueur du tronçon d'essai ? Un choix possible est proposé dans le fichier (**Dossier\_Candidat/Modele/Calcul-SKI-candidat.xlsx**)

Deuxième partie – 2h00

### Activité 2 : Modélisations du comportement

La lecture des fiches 1 (RdM) et 3 (Produit ski) est nécessaire pour la réalisation de cette activité.

**Objectif : Déterminer le module de flexion le long du ski**

- 2.1 En utilisant le modèle Excel proposé (Fichier **Dossier\_Candidat/Modele/Calcul-SKI-candidat.xlsx**), procéder à l'identification. En déduire l'évolution expérimentale du module de flexion en fonction de la position  $x$  de la section courante.
- 2.2 En utilisant le modèle Eléments finis (Fichier **Dossier\_Candidat/Modele/ski\_Partie1.m**) dans lequel vous aurez défini les variables d'entrée, exécuter la simulation sur le ski entier en flexion 3 pts de manière à prédire la flèche du ski total en flexion 3 points ainsi que le module de flexion moyen du ski entier. Reporter ce point sur le graphique de la question précédente.
- 2.3 En exploitant le modèle Matlab proposé (Fichier **Dossier\_Candidat/Modele/Module-Flexion-Partie2.m**), expliquer la méthode et les hypothèses de calcul du module de flexion homogénéisé  $\langle EI \rangle$  de la section Patin. Placer ce point sur la courbe obtenue à la question 2.2
- 2.4 Expliquer l'origine des différences entre les valeurs obtenues par les approches globale et locale.

### Activité 3 : Caractérisation de l'impact des matériaux

#### **Objectif : Déterminer les impacts des matériaux constitutifs du ski**

*La lecture des fiches 3 (Produit ski) et 4 (CES) est nécessaire pour la réalisation de cette activité.*

**3.1** Établir le graphe Module d'Young et Masse volumique restreint aux matériaux constitutifs du ski.

**3.2** À partir des matériaux et de leur poids respectif dans la structure ski, mener un éco-audit réduit aux phases Matériaux et Fabrication. Quel matériau est le plus impactant ? Proposer des hypothèses et une démarche pour lui trouver un matériau de remplacement ?

### Activité 4 : Torsion

#### **Objectif : Modéliser la rigidité en torsion**

*La lecture de la fiche 5 (Eléments finis) est nécessaire pour la réalisation de cette activité.*

**4.1.** En transposant l'étude de flexion menée en parties 1 et 2, établir la démarche de caractérisation du ski en torsion.

**4.2.** Faire un croquis du dispositif expérimental d'essai de torsion (du commerce ou sur mesure) sur ce ski et sur le banc BED100.

### Synthèse

- Réaliser une synthèse sous forme de poster des activités réalisées. Ce poster devra permettre d'illustrer comment la problématique a été résolue. Il pourra prendre n'importe quelle forme (papier ou numérique).

### Troisième partie – 1h30

Pour cette troisième partie, le but est de concevoir et organiser une séquence de formation pour un objectif pédagogique imposé à un niveau de classe donné. Cette séquence prend appui sur les investigations et les analyses effectuées au préalable et au cours des activités pratiques.

Il est demandé, au cours de la présentation orale, d'expliciter la démarche méthodologique, de mettre en évidence les informations, données et résultats issus des investigations conduites au cours des activités pratiques qui ont permis de construire la séquence de formation, de décrire et situer la séquence élaborée.

L'exposé devant le jury a une durée maximale de 30 minutes. Il est suivi d'un entretien avec le jury (durée maximale 30 minutes). Le jury n'intervient pas au cours de l'exposé qui doit comporter :

- la présentation du système (durée maximale 5 minutes) ;
- la synthèse des activités menées dans la deuxième partie de la première phase du TP (durée maximale 5 minutes) ;
- l'exploitation pédagogique (durée maximale 20 minutes).

Au cours de l'entretien, certains points de la présentation peuvent faire l'objet d'une demande de précision de la part du jury. Il peut être demandé notamment d'expliquer et de justifier les choix de nature didactique et pédagogique qui ont été opérés dans la construction de la séquence de formation présentée. De plus des échanges peuvent porter sur les compétences communes aux métiers de l'Éducation.

Pour la présentation devant jury, les candidats ont à leur disposition un tableau, un ordinateur et un vidéoprojecteur. Ils disposent d'un poste informatique connecté à Internet et doté des logiciels courants de bureautique. Les éventuels résultats obtenus lors des parties 1 et 2 sont stockés dans un espace qui leur est dédié sur un serveur.

# Rapport du jury de l'épreuve d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnologique

## 1. Présentation de l'épreuve

L'épreuve « Activité pratique et exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnologique » permet au jury d'évaluer l'aptitude des candidats à :

- mettre en œuvre des matériels ou équipements, associés si besoin à des systèmes informatiques de pilotage, de traitement, de simulation, de représentation ;
- conduire une expérimentation, une analyse de fonctionnement d'une solution, d'un procédé, d'un processus, dans la spécialité du concours ;
- exploiter les résultats obtenus et formuler des conclusions ;
- concevoir et organiser une séquence de formation pour un objectif pédagogique à un niveau de classe donné et présenter de manière détaillée un ou plusieurs points-clefs des séances de formation constitutives. Elle prend appui sur les investigations et les analyses effectuées au préalable par les candidats au cours d'activités pratiques relatives à un système technique.

## Déroulement de l'épreuve

**Cette épreuve, de coefficient 2, dure 6 heures et comporte trois phases.**

L'utilisation d'une calculatrice est autorisée (conformément à la circulaire n°99-186).

### La phase 1 – Manipulation expérimentale au laboratoire (durée 4 h)

Cette phase, d'une durée totale de 4 h, se déroule en trois parties dans le laboratoire où sont mis à disposition des candidats les différents supports<sup>1</sup> qui leurs permettent de proposer une séquence pédagogique. Cette dernière est liée aux activités pratiques réalisées.

#### Première partie (durée ≈ 0h30)

Pour cette partie, les manipulations ainsi que les activités proposées ont pour objectif de faciliter la compréhension du fonctionnement global du système, support de l'épreuve. À la fin de cette première partie, les examinateurs s'assurent que le support de TP, ses performances dans l'optique de l'épreuve ainsi que la problématique proposée ont bien été assimilés.

#### Deuxième partie (durée ≈ 2h00)

Pour cette partie, après la présentation du système aux examinateurs, les candidats doivent suivre le questionnement proposé afin de répondre à la problématique proposée dans le TP. Cette partie permet aux candidats, par la mobilisation de compétences caractéristiques du niveau de l'agrégation, de résoudre et analyser les problèmes posés puis d'exploiter les résultats obtenus (hypothèses, modèles, expérimentations, mesures, résultats numériques, etc.) pour justifier les solutions.

#### Troisième partie (durée ≈ 1h30)

Les candidats réfléchissent à la construction d'une séquence pédagogique. Ils disposent du matériel expérimental et de toutes ses ressources pour construire et étayer une séance en s'aidant des manipulations, investigations et analyses effectuées. Le jury attend d'eux qu'ils proposent et mettent éventuellement en œuvre d'autres expérimentations, en précisant un ou plusieurs protocoles de simulation et/ou de mesure permettant de répondre à la problématique afin d'enrichir leur exploitation pédagogique.

Cette phase 1 se déroule dans le laboratoire dans lequel se trouve le support utilisé.

Les candidats disposent de l'ensemble des moyens nécessaires à l'expérimentation et d'un poste informatique, relié à Internet, doté des logiciels courants de bureautique et des logiciels plus spécifiques liés au sujet qui leurs est proposé. Ils peuvent stocker les résultats obtenus dans l'espace numérique qui leur est alloué pour l'épreuve.

---

<sup>1</sup> Systèmes réels distants ou non avec éventuellement sous-ensembles et composants industriels, systèmes réels instrumentés, systèmes didactisés, systèmes sous forme de maquette et systèmes simulés.

### **La phase 2 – Préparation de la présentation (durée 1 h)**

Durant cette phase d'une heure, les candidats préparent l'intervention qu'ils feront devant le jury. Ils s'appuient sur la trame de la séquence qu'ils ont construite dans la troisième partie de la phase 1, ainsi que sur la ou les séances envisagées. Ils disposent d'un poste informatique relié à Internet doté des logiciels courants de bureautique et de tous les résultats de mesures, analyses ou investigations issus de la phase 1. En revanche, ils n'ont plus accès au matériel expérimental et logiciels spécifiques liés au support qui leur ont été proposés d'étudier.

### **La phase 3 – Présentation des travaux devant le jury (durée 1 h)**

L'exposé oral est d'une durée maximale de 30 minutes. Le jury n'intervient pas pendant leur exposé. L'entretien avec le jury est d'une durée maximale de 30 minutes.

Les candidats sont amenés au cours de la présentation orale à :

- présenter le système (durée maximale 5 minutes) ;
- présenter une synthèse des activités menées dans la première phase de l'épreuve (durée maximale 5 minutes) ;
- présenter leur exploitation pédagogique (durée maximale 20 minutes).

Au cours de l'entretien, les candidats sont amenés à :

- préciser certains points de leur présentation ;
- expliquer et justifier les choix de nature didactique et pédagogique qu'ils ont opérés.

Pour la présentation devant le jury, les candidats ont à leur disposition un tableau, un ordinateur et un vidéoprojecteur. L'ordinateur est connecté à Internet, les candidats disposent des logiciels courants de bureautique et des résultats obtenus lors des phases 1 et 2 qu'ils ont stockés dans l'espace qui leur est dédié.

Thèmes d'études retenus lors de la session 2023 :

- vérification de performances techniques ;
- validation de procédés et de matériaux ;
- identification et analyse de comportement de structure ;
- qualification d'un processus de réalisation de pièces usinées ;
- validation et choix de solution constructive ;
- étude d'un avant-projet industriel
- dimensionnement d'une motorisation sur un critère de dissipation énergétique

Ces études permettent aux candidats de mettre en œuvre leurs compétences à haut niveau scientifique sur les activités suivantes :

- modélisation comportementale de systèmes ;
- détermination de paramètres significatifs dans une modélisation ;
- analyse critique de modèles et proposition de modifications ;
- validation de modèles ;
- caractérisation d'une chaîne de mesure ;
- simulation et prédiction de performances ;
- mesure de paramètres du comportement de systèmes ;
- identification du comportement de composants, choix ou caractérisation d'un matériau ;
- respect des normes ;
- optimisation de solutions constructives industrielles ;
- industrialisation de produits ;
- dimensionnement de système.

### **Compétences attendues par le jury**

Lors de cette épreuve d'activités pratiques, le jury évalue chez les candidats les compétences professionnelles de l'enseignant suivantes :

- faire preuve d'aptitudes liées à l'ingénierie pédagogique en élaborant une séance d'activités pratiques dans une séquence cohérente, inscrite dans une progression didactique ;
- proposer des activités pratiques ou des modélisations nouvelles, adaptées au niveau imposé et aux objectifs de formation ;

- s'approprier un support technique ;
- s'approprier la problématique associée ou le problème technique posé ;
- élaborer, conduire, justifier un protocole expérimental ;
- exploiter et analyser des résultats expérimentaux ;
- élaborer, justifier, analyser de manière critique un modèle ;
- caractériser les différents écarts (spécifiés, simulés, réalisés) ;
- faire une synthèse au regard de la problématique proposée en s'appuyant sur les expériences menées et les modèles utilisés ;
- évoluer en autonomie en mobilisant toutes ses connaissances et ses compétences ;
- présenter oralement ses travaux avec clarté, précision et rigueur.

## **2. Analyse globale des résultats**

Les résultats pour cette session sont satisfaisants globalement du point de vue de la préparation des candidats, mais cependant en légère baisse. Ils avaient connaissance des modalités de cette épreuve, certains y étaient bien préparés. Il semble toujours indispensable que les futurs candidats s'imprègnent de l'idée que les activités pratiques peuvent constituer de véritables activités d'apprentissage. Le jury note que certains candidats méconnaissent totalement les référentiels des BTS de la spécialité. Les modalités pédagogiques propres à ces filières sont parfois assez mal maîtrisées.

## **3. Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux candidats**

### **Concernant la compréhension du système (phase 1 – première partie)**

Pour cette première partie, le questionnement est conçu pour permettre une compréhension globale du système et de son fonctionnement, quelles que soient les connaissances préalables des candidats. Cette partie leur permet de montrer leur capacité à aborder le système de façon globale en identifiant sa structure, ses caractéristiques et son fonctionnement. Il est conseillé de s'engager dans l'épreuve de façon ordonnée. Un dossier technique et des ressources documentaires numériques sont à disposition. Cette première phase d'appropriation est fondamentale pour permettre de comprendre la problématique proposée dans la suite des activités (deuxième et troisième partie de la phase 1). Le système proposé peut être le système réel ou un système didactisé. Il est important que les candidats prennent en compte les différences entre ces deux cas de figure. Cette première partie est conçue pour s'approprier rapidement le sujet par une présentation concise du support et du contexte et par une prise en main des logiciels à utiliser, le cas échéant. Pour cela, elle est assortie de questions pour permettre aux candidats d'être autonomes pour utiliser le matériel et les logiciels.

Pour cette partie, le jury recommande :

- de lire attentivement l'énoncé fourni ;
- d'analyser et d'identifier les informations pertinentes pour s'approprier le support ;
- d'associer les observations du système à la consultation des ressources documentaires ;
- d'utiliser des outils d'analyse externe et interne pour décrire le fonctionnement et/ou la structure du système ;
- de restituer le système réel dans son contexte.

### **Concernant les travaux pratiques de résolution des problèmes posés et d'exploitation des résultats (phase 1 – deuxième partie)**

Pour cette partie de l'épreuve, les candidats peuvent être amenés à utiliser une instrumentation spécifique dédiée à la mesure de grandeurs physiques sur les systèmes instrumentés. Une aide dans l'utilisation de ces instruments est fournie et le jury assiste les candidats en cas de difficultés matérielles. Les moyens de mesure peuvent être conventionnels ou numériques, isolés ou reliés à un système d'acquisition. L'usage des moyens numériques est de plus en plus développé : lors de cette session, l'exploitation du comportement réel s'est quelquefois opérée par digitalisation du réel, à partir d'un programme de corrélation d'image, cela n'implique cependant pas de négliger les moyens de mesure conventionnels.

Le jury prend en compte le soin et les précautions apportés par les candidats pour réaliser des mesures.

Les candidats peuvent également être amenés à mettre en œuvre différents outils informatiques (logiciels de pilotage et/ou d'acquisition dédiés aux supports, modeleurs volumiques, logiciels de simulation, de choix de matériaux, scripts python...). La maîtrise de ces logiciels n'est pas exigée, les membres du jury sont présents pour apporter une aide éventuelle à leur utilisation. Ces logiciels proposés peuvent, par leur possibilité de simulation, faciliter la compréhension des phénomènes et permettent d'éviter tout calcul analytique long et complexe. Ils ne dispensent pas les candidats de formuler l'ensemble des hypothèses et des justifications nécessaires. Les modèles numériques et analytiques peuvent également être utilisés pour de l'identification et/ou de la prédiction.

La maîtrise des connaissances fondamentales dans les domaines de la mécanique, de l'automatique, de la conception, de la pré-industrialisation, de l'industrialisation, du contrôle et de la maintenance des produits est indispensable pour mettre en œuvre les différents équipements proposés et pour résoudre les problématiques auxquelles ils sont confrontés.

Les candidats ayant bien réussi la présentation de l'activité expérimentale se sont attachés à :

- analyser le sujet proposé ;
- exploiter la problématique ;
- s'approprier le matériel mis à disposition et identifier les paramètres modifiables ;
- interpréter les résultats obtenus ;
- présenter de manière synthétique le système proposé, la problématique posée, les données et l'environnement matériel ;
- faire une analyse critique, organisée et pertinente de ces résultats ;
- structurer l'exposé à partir d'un plan ;
- présenter la démarche de résolution du problème technique posé ;
- confronter le modèle et le réel ;
- présenter et justifier les protocoles ;
- mettre en œuvre une expérimentation avec les instruments mis à disposition et selon le protocole proposé ;
- corrélérer les phénomènes physiques observables et les mesures effectuées par des logiciels d'acquisition ou des appareils de mesure ;
- présenter les résultats de façon claire et précise ;
- tirer les conclusions vis-à-vis du problème posé ;

La durée de présentation des activités expérimentales n'étant que de dix minutes, l'exposé des points ci-dessus nécessite un effort pour synthétiser les résultats et prendre du recul quant à la problématique posée.

### **Concernant la réalisation d'une activité pédagogique à caractère expérimental (phase 1 – partie 3)**

Un contexte pédagogique et des activités expérimentales étant proposés par le jury, les candidats doivent préparer la trame détaillée de leur séquence pédagogique. Ils devront décrire plus particulièrement une séance pédagogique à caractère expérimental en s'appuyant sur des manipulations pertinentes, partiellement issues des parties 1 et 2.

Le jury recommande aux candidats de :

- préciser les compétences visées et savoirs associés ;
- dégager les objectifs pédagogiques, les connaissances à transmettre et les points-clés de la séquence ;
- définir et justifier la place de la séquence dans la progression didactique du niveau proposé ;
- consulter les programmes, référentiels et documents d'accompagnement fournis ;
- respecter les horaires officiels du niveau d'enseignement demandé ;
- définir les hypothèses de mise en œuvre (nombre d'élèves, de groupes, liste des systèmes présents dans le laboratoire ou l'atelier, etc.) ;
- décrire et justifier la structure de la séquence (cours, travaux dirigés, activités pratiques, projets, synthèse, etc.) ;
- définir les prérequis nécessaires à la mise en place de cette séquence ;
- développer le contenu d'au moins une séance de façon argumentée ;
- structurer la démarche pédagogique permettant le développement de compétences nouvelles au niveau imposé ;

- proposer et justifier les protocoles expérimentaux et/ou de simulation à mettre en œuvre avec les élèves ;
- définir les modalités d'évaluation des compétences visées.

Il est déconseillé d'opérer un transfert direct des activités réalisées dans l'épreuve dans la séquence pédagogique.

Le jury conseille aux futurs candidats d'étudier préalablement et attentivement les programmes et les objectifs de formation des baccalauréats STI2D (enseignement spécifique de spécialité ITEC), des BTS et des BUT (bachelors universitaires de technologie) du champ de la spécialité et leurs évolutions ainsi que les modalités de certification (les programmes ou référentiels sont fournis en annexe aux candidats) et les documents d'accompagnement : ressources pour le lycée général et technologique et guides d'équipement (cf. Éduscol). Il rappelle également que le candidat ne doit s'attacher à la préparation des activités pédagogiques qu'à partir de cette phase. En effet, plusieurs candidats abordent la préparation lors de la partie précédente de l'épreuve, au détriment de celle-ci.

Le jury a observé qu'une grande partie des candidats envisagent des séquences pédagogiques impliquant de trop nombreuses compétences et connaissances. La séquence pédagogique doit présenter une certaine cohérence, concernant des objectifs atteignables sur la durée envisagée.

### **Concernant la présentation orale devant un jury**

Lors de cette phase de présentation d'une séquence pédagogique à caractère expérimental, les candidats doivent être capables :

- d'expliciter les compétences visées par la séquence en lien avec le programme ou référentiel;
- de situer la séquence dans une progression pédagogique cohérente ;
- d'identifier les savoirs nouveaux ainsi que les points clés de la séquence ;
- de situer la séance à caractère expérimental dans la séquence pédagogique en s'appuyant sur une problématique clairement identifiée ;
- de décrire le ou les systèmes retenus dont le support utilisé en phase 1 et 2 ;
- de proposer des organisations temporelles, matérielles et spatiales de la séquence et de la séance en indiquant l'effectif d'élèves ou d'étudiants dans chacune des activités ;
- de proposer, justifier et valider un ou des protocoles ;
- de décrire les mesures que devront réaliser les élèves ou étudiants ;
- de commenter la démarche pédagogique mise en œuvre ;
- de définir l'enchaînement des activités réalisées par les élèves dans la séance ;
- de définir les documents (ainsi qu'éventuellement leur format) qui seront proposés aux élèves ;
- de définir les modalités d'évaluation retenues et les critères associés.

Le jury a apprécié lors de la présentation de la séance pédagogique développée, les candidats qui ont pu s'attacher à une présentation rigoureuse et une organisation structurée de la séquence pédagogique attendue, tout en ne reléguant pas l'approche pédagogique expérimentale à une problématique secondaire. Il est à noter que les prestations pour lesquelles cette activité était dûment étayée et illustrée par des protocoles expérimentaux et simulations construits en partie 3 ont été valorisées.

Le jury escompte que soient mises en œuvre des compétences professionnelles en matière de communication :

- produire un discours clair, précis et rigoureux en sachant capter l'attention de son auditoire ;
- utiliser un ou des supports adaptés à une présentation orale ;
- être pertinent et réactif dans les réponses aux questions posées ;
- être capable de dégager l'essentiel et de donner du sens aux connaissances développées.

Il constate que de nombreux candidats ne savent pas mettre à profit tout le temps qui leur est imparti pour présenter et justifier leur proposition pédagogique.

Lors de la phase de présentation de l'activité pédagogique, il est important d'aller à l'essentiel et de replacer la séquence proposée dans son contexte. Il n'est pas nécessaire que les candidats présentent de façon exhaustive l'organisation pédagogique générale de l'année de formation correspondante.

Le candidat ne doit pas se contenter, dans la séquence pédagogique, de réutiliser *in extenso* les expérimentations menées et les résultats obtenus dans la première partie de l'épreuve. La présentation doit permettre d'appréhender rapidement les objectifs de la formation, de comprendre de manière détaillée la séquence et d'explicitier finement la ou les séances en exposant les activités de l'élève ou de l'étudiant.

### Concernant le comportement des candidats

Le jury attend des candidats un savoir-être compatible avec les exigences d'un concours de recrutement de cadres A de la fonction publique. Il a constaté que de nombreux candidats manquent de méthode et de rigueur pour appréhender un système dans sa complexité. L'exploitation pédagogique relative à l'approche spécialisée d'un système pluritechnologique ne s'improvise pas, elle doit se préparer.

Certains candidats font une confiance aveugle aux modèles numériques et ont en revanche beaucoup de méfiance vis-à-vis des résultats expérimentaux. Même si c'est une évidence, il n'est pas inutile de rappeler ici qu'une épreuve d'activités pratiques est avant tout une épreuve expérimentale.

Au-delà de la structuration nécessaire à un discours cohérent, les candidats doivent éviter les présentations stéréotypées qui ne permettent pas de mettre en valeur la qualité de leur réflexion personnelle. Le jury apprécie une présentation qui montre la logique de choix des objectifs pédagogiques de chaque séance et la cohérence de leur enchaînement au cours de la séquence proposée. Il recommande aux candidats — dans le cadre d'un recrutement au métier d'enseignant — de s'appropriier le référentiel de compétences professionnelles du professeur (BOEN n°30 du 25 juillet 2013 et n°13 du 26 mars 2015). Il conseille de porter une attention particulière sur la maîtrise de la communication et d'éviter les fautes d'orthographe et les expressions maladroites.

## 4. Conclusion

Le jury est conscient de la difficulté de cette épreuve exigeante mais fondamentale en sciences industrielles de l'ingénieur. Pour cette session de l'agrégation, les résultats de la deuxième épreuve d'admission montrent une légère inflexion. Les candidats des prochaines sessions trouveront dans le rapport de cette épreuve les éléments relatifs à leur préparation.

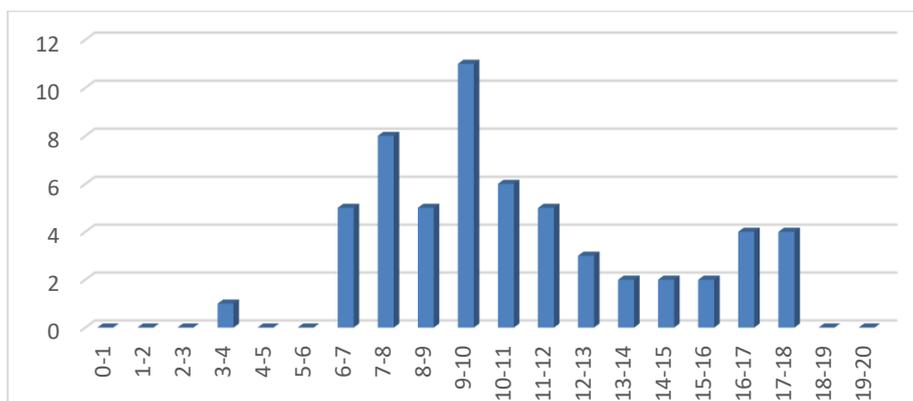
Le jury conseille de préparer cette épreuve en s'appropriant concrètement les différentes évolutions pédagogiques et didactiques proposées dans les référentiels et les documents d'accompagnement qui les complètent, ainsi que par la lecture des articles pédagogiques qui sont publiés régulièrement. La connaissance et l'appropriation de ces réflexions dans l'enseignement quotidien permettront de mieux maîtriser ces concepts et d'éviter de faire des propositions didactiques irréalistes et inappropriées dans le cadre habituel de fonctionnement des établissements scolaires.

## 5. Résultats

58 candidats ont composé pour cette épreuve. La moyenne des notes obtenues est de 10,71/20, et l'écart-type 3,50 avec :

- 17,6 comme meilleure note ;
- 03,6 comme note la plus basse.

Histogramme des notes



# Rapport du jury de l'épreuve de soutenance d'un dossier industriel

## 1. Présentation de l'épreuve

Le descriptif de cette épreuve (mise à jour : arrêté du 24 juin 2019) précise :

*« L'épreuve consiste en la soutenance devant le jury d'un dossier technique et scientifique réalisé par le candidat dans un des domaines de l'option préparée, suivie d'un entretien.*

*L'épreuve a pour but de vérifier que le candidat est capable de rechercher les supports de son enseignement dans le milieu économique et d'en extraire des exploitations pertinentes pour son enseignement en cycle terminal du lycée, en classes préparatoires aux grandes écoles, en sections de techniciens supérieurs et instituts universitaires de technologie. »*

*« Durée totale de l'épreuve : 1 heure (présentation : 30 minutes maximum ; entretien avec le jury : 30 minutes) ».*

Le jury cherche également à apprécier la capacité du candidat, en qualité de futur agent du service public d'éducation, à se représenter la diversité des conditions d'exercice du métier et les valeurs qui le portent, dont celles de la République.

## 2. Analyse globale des résultats

De très bons résultats témoignent de la qualité de la préparation et de la prestation de certains candidats. Les dossiers et exposés insuffisamment préparés et/ou inadaptés aux exigences de l'épreuve n'ont pas permis à d'autres candidats de faire preuve de leurs compétences.

Le jury rappelle à tous les futurs candidats que cette seule épreuve ne représente pas un entretien d'embauche.

## 3. Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

### Le dossier industriel

Le choix du support, produit ou système technologique représentatif des technologies actuelles et en lien avec l'option présentée du concours, est déterminant pour permettre un transfert pertinent vers l'enseignement. Au-delà du choix du support en lui-même, l'identification d'une problématique claire et réelle nécessitant la mise en place d'une démarche d'ingénieur permet de présenter des développements cohérents. La problématique présentée doit être issue d'un réel besoin industriel et doit être élaborée en partenariat avec l'entreprise qui développe l'étude ou le produit. En aucun cas le jury ne peut se contenter d'une simple vérification d'une performance indiquée dans le cahier des charges du support.

Le choix de la ou des formations considérées pour l'application pédagogique doit être en adéquation avec la nature du support et la problématique traitée.

Les développements scientifiques et technologiques, du niveau de l'agrégation, doivent être justifiés au regard de la problématique.

Le dossier industriel doit aborder plusieurs dimensions :

- socio-culturelle pour mettre en contexte le problème traité vis-à-vis d'une question sociétale, dont le développement durable ;

- scientifique pour appliquer des démarches, pour conduire et analyser des expérimentations, des modélisations, des simulations ;
- ingénierie pour analyser les résultats des développements scientifiques et apporter des réponses technologiques concrètes aux problématiques.

Ce dossier doit comporter une exploitation pédagogique qui s'appuie sur le support et les problématiques retenus, les investigations scientifiques et technologiques proposées. Elle doit être en cohérence avec le niveau d'enseignement choisi et les programmes ou référentiels associés.

L'exploitation pédagogique doit préférentiellement concerner l'enseignement du second degré : cycle terminal du baccalauréat général Enseignement de spécialité SI, cycle terminal du baccalauréat STI2D, l'enseignement supérieur : STS, CPGE.

Les candidats qui ont fait le choix de présenter une exploitation pédagogique en IUT, ont souvent été en difficulté car ils n'ont pas fait la preuve d'une réelle connaissance de ce cycle de formation, des élèves qui y sont accueillis.

Le dossier présenté doit résulter d'un travail personnel du candidat, les références scientifiques et pédagogiques doivent être citées explicitement dans le texte en lien avec une bibliographie (le jury utilise des moyens de détection de plagiat).

Le niveau de confidentialité ne doit pas nuire à la constitution du dossier et au dialogue avec le jury.

Les fichiers numériques joints (sur clef USB) ne doivent pas se limiter au dossier au format pdf. L'ensemble des fichiers pertinents issus des « outils numériques métiers » doivent être joints. Ces derniers doivent cependant se limiter à ceux qui éclaireront le jury dans les développements proposés par le candidat. Ils ne doivent pas être un prétexte pour alourdir l'ensemble du dossier : documentations techniques trop complètes et inutiles, cours complet abordant un sujet traité par le candidat...

Le jury apprécie particulièrement :

- les dossiers élaborés autour d'une véritable problématique, clairement définie, résultant d'une relation authentique avec l'entreprise ;
- les dossiers issus de supports technologiques innovants en lien direct avec le développement durable ;
- les dossiers clairement structurés comportant des schémas, graphes et autres images s'appuyant sur une documentation technique authentique et sur une maquette numérique... ;
- les dossiers n'excédant pas 40 pages (annexes comprises), rédigés dans une langue française soignée ;
- les dossiers rédigés de façon très lisible ;
- des démarches scientifiques et technologiques rigoureuses, adaptées, formalisées et étayées par des expérimentations et dont l'analyse critique permet de répondre à la problématique traitée ;
- les « outils métiers » adaptés aux développements scientifiques entrepris et utilisés avec pertinence ;
- un regard critique sur les résultats obtenus ;
- des exploitations pédagogiques cohérentes avec les considérations scientifiques et technologiques développées ;
- des exploitations pédagogiques précises (niveau d'enseignement, contexte, matériel choisi, position de la séquence dans la progression des apprentissages, contenu et déroulement de la séquence, modalités d'évaluation, détail d'une séance, traitement de la difficulté scolaire, documents pour le professeur, documents pour les élèves...) ;

- des rédactions explicatives pour les développements scientifiques et les exploitations pédagogiques claires et concises : inutile de rédiger 2 pages descriptives pour dire ce qui est observable dans un tableau proposé à la suite ;
- la capacité à se projeter sur différents niveaux de formation (second degré et enseignement supérieur) ;
- la connaissance et la prise en compte de la diversité de publics que peut rencontrer le professeur au sein d'une même formation ou au gré de ses affectations ;
- les propositions d'exploitations pédagogiques justifiées, mises en perspective dans un cadre interdisciplinaire.
- l'équilibre entre les développements scientifiques et les propositions pédagogiques.

Les dossiers, dans leur majorité, sont bien présentés et construits de manière cohérente. Cependant, le jury regrette que leur structure soit parfois stéréotypée notamment pour la partie pédagogique.

### **L'exposé et les échanges avec le jury**

Durant les 30 minutes de l'exposé, les candidats doivent mettre en valeur leurs qualités de didacticien et de pédagogue pour expliquer leurs choix, leurs démarches et leurs analyses.

Certains candidats profitent de leur convocation plus tardive aux épreuves d'admission pour présenter au jury une exploitation pédagogique plus complète que celle présente dans le dossier transmis.

Le jury tolère quelques corrections entre le moment où le candidat remet son dossier et le moment où il présente oralement son travail. En revanche, il ne peut être question de modifier radicalement sa présentation au regard du contenu du dossier. Le jury étudie de manière approfondie les développements des candidats et n'apprécie pas de découvrir de nouvelles études ou développements le jour de l'épreuve.

Le jury rappelle qu'il veille à traiter tous les candidats de façon équitable et qu'il évalue donc tous les dossiers de façon équivalente, puisque tous transmis à une date unique et précisée à tous les admissibles.

Les présentations orales doivent être en lien avec le contenu du dossier.

Les 30 minutes d'échange avec le jury permettent d'approfondir certains points présentés dans le dossier ou durant l'exposé. Ces échanges portent autant sur les développements scientifiques et technologiques engagés que sur les propositions d'exploitations pédagogiques qui en découlent. Le jury élargit son questionnement pour vérifier que les candidats ont entrepris une réflexion sur :

- les finalités de l'enseignement technologique et ses interactions avec d'autres disciplines ;
- les démarches d'apprentissage utilisées pour l'enseignement des sciences industrielles de l'ingénieur ;
- les missions à assurer par un enseignant au sein du système éducatif ;
- la connaissance du contexte d'exercice et le fonctionnement d'un établissement dans son ensemble ;
- les situations au cours desquelles il est en position de faire partager les valeurs de la République en tant qu'agent du service public d'éducation.

Le jury apprécie particulièrement :

- les exposés clairement structurés ;
- une expression maîtrisée et correctement rythmée, un vocabulaire technique adapté, une fluidité des propos ;
- les supports visuels, notamment les schémas, lisibles et judicieusement utilisés ;
- la bonne écoute des questions, les réponses argumentées et concises ;

- les réponses démontrant la connaissance du contexte d'exercice et du fonctionnement d'un établissement dans son ensemble ;
- les échanges démontrant un vif intérêt pour les évolutions du système éducatif dans son ensemble et de la discipline en particulier.
- Les diaporamas paginés.

Les présentations orales ont été, pour une grande majorité de candidats, préparées soigneusement avec un temps d'exposé maîtrisé.

Afin d'assurer une équité entre tous, quel que soit le support choisi, les candidats ne sont pas autorisés à apporter et présenter des supports physiques (produits, échantillons, maquettes didactiques...). S'ils existent, ces éléments pourront être mis en valeur à travers les documents présentés.

#### 4. Conclusion

Les candidats qui se sont distingués montrent en même temps une solide expertise scientifique et technologique, un esprit d'analyse et de synthèse couplé à une maîtrise pédagogique et didactique de leur discipline.

Le jury a constaté avec satisfaction que, pour la grande majorité des candidats, la dimension éducative du métier de professeur est correctement appréhendée et qu'une réelle réflexion a été menée sur la transmission des valeurs de la République.

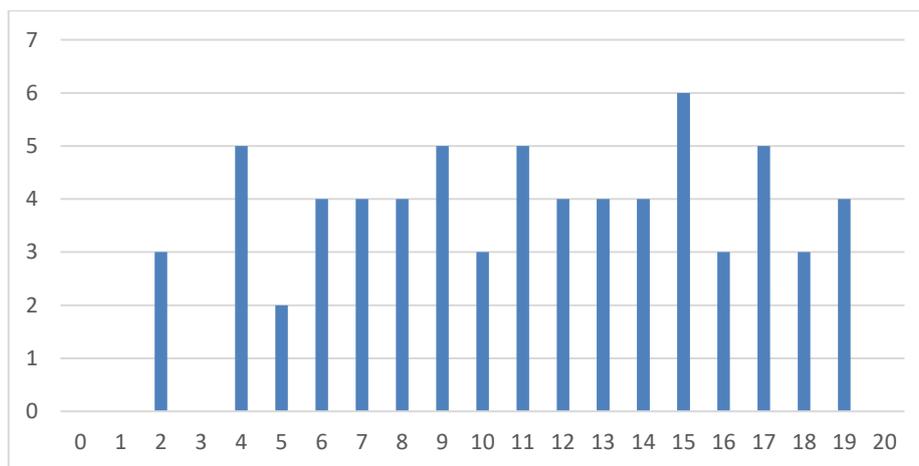
Le présent texte réactualise les recommandations émises dans des rapports de jurys antérieurs, il pourra servir utilement d'appui à la préparation des futurs candidats.

#### 5. Résultats

58 candidats ont été évalués. La moyenne des notes obtenues est de 11,7 et l'écart-type 4,8 avec :

- 19,6/20 comme meilleure note ;
- 02,2/20 comme note la plus basse.

**Histogramme des notes**



## Rapport sur la transmission des valeurs et principes de la République

Lors des épreuves d'admission, le jury évalue la capacité des candidats à agir en agent du service public d'éducation, en vérifiant qu'ils intègrent dans l'organisation de leur enseignement :

- la conception des apprentissages des élèves en fonction de leurs besoins personnels ;
- la prise en compte de la diversité des conditions d'exercice du métier et la connaissance réfléchie des contextes associés ;
- le fonctionnement des différentes entités éducatives existant au sein de la société et d'un EPLE (institution scolaire, établissement, classe, équipe éducative...) ;
- les valeurs portées par l'Éducation nationale, dont celles de la République.

Les candidats doivent prendre en compte ces exigences dans la conception des séquences pédagogiques présentées au jury. Il s'agit de faire acquérir, à l'élève, des compétences alliant des connaissances scientifiques et technologiques et des savoir-faire associés, mais également d'installer des comportements responsables et respectueux des valeurs républicaines.

Cet objectif exigeant induit une posture réflexive des candidats lors de la préparation et de la présentation d'une séquence pédagogique. En particulier, les stratégies pédagogiques proposées devront permettre d'atteindre l'objectif de formation visé dans le cadre de « l'école inclusive ». Il est indispensable de donner du sens aux enseignements en ne les déconnectant pas d'un contexte sociétal identifiable. Cela doit contribuer à convaincre les élèves du bien-fondé des valeurs républicaines et à se les approprier.

L'éducation aux valeurs républicaines doit conduire à adopter des démarches pédagogiques spécifiques, variées et adaptées. Il s'agit en particulier de doter chaque futur citoyen d'une culture faisant de lui un acteur éclairé et responsable de l'usage des technologies et des enjeux éthiques associés. À dessein, il est nécessaire de lui faire acquérir des comportements fondateurs de sa réussite personnelle et le conduire à penser et construire son rapport au monde. Les modalités pédagogiques, déployées en sciences industrielles de l'ingénieur, sont nombreuses et sont autant d'opportunités offertes à l'enseignant pour apprendre aux élèves :

- à travailler en équipe et coopérer à la réussite d'un projet ;
- à assumer une responsabilité individuelle et collective ;
- à travailler en groupe à l'émergence et à la sélection d'idées issues d'un débat et donc favoriser le respect de l'altérité ;
- à développer des compétences relationnelles en lui permettant de savoir communiquer une idée personnelle ou porter la parole d'un groupe ;
- à comprendre les références et besoins divers qui ont conduit à la création d'objets ou de systèmes à partir de l'analyse des « modes », des normes, des lois... ;
- à différencier, par le déploiement de démarches rigoureuses, ce qui relève des sciences et de la connaissance de ce qui relève des opinions et des croyances. L'observation de systèmes réels, l'analyse de leur comportement, de la construction ou de l'utilisation de modèles multiphysiques participent à cet objectif ;
- à observer les faits et situations divers suivant une approche systémique et rationnelle ;
- à adopter un positionnement citoyen assumé au sein de la société en ayant une connaissance approfondie de ses enjeux au sens du développement durable.

L'impact environnemental, les coûts énergétiques, de transformation et de transport, la durée de vie des produits et leur recyclage, sont des marqueurs associés à privilégier ;

- à réfléchir collectivement à son environnement, aux usages sociaux des objets et aux conséquences induites ;
- à comprendre les enjeux sociétaux liés au respect de l'égalité républicaine entre hommes et femmes ;
- ...

Ces différentes approches permettent d'évaluer la posture du candidat par rapport au besoin de transmettre les valeurs et les principes de la République à l'école. La dimension civique de l'enseignement doit être explicite.

Pour prendre en compte cette dimension du métier d'enseignant dans la conception de séquences pédagogiques, les candidats peuvent s'appuyer sur différents textes réglementaires et ressources pédagogiques disponibles :

- les programmes d'enseignement moral et civique ;
- le socle commun de connaissances, de compétences et de culture ;
- l'instruction relative au déploiement de l'éducation au développement durable dans l'ensemble des écoles et établissements scolaires pour la période 2015-2018 (NOR : MENE1501684C, circulaire n° 2015-018 du 4-2-2015, MENESR – DGESCO) ;
- le parcours Avenir ;
- la banque de ressources « Pour une pédagogie de la laïcité à l'école » - Abdenour BIDAR - la documentation française 2012 ;
- les ressources numériques en ligne du réseau de création et d'accompagnement pédagogiques CANOPÉ – éducation et société ;
- les ressources du portail national des professionnels de l'éducation – Éduscol – établissements et vie scolaire ;
- référentiel de compétences des métiers du professorat et de l'éducation – [education.gouv.org](http://education.gouv.org).